

# **UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

FACULTAD DE INFORMÁTICA

Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial



## **TESIS DOCTORAL**

Diseño e implementación de un sistema de información de movilidad para  
redes heterogéneas

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Fabio Mesquita Buiati**

Director

**Luis Javier García Villalba**

**Madrid, 2013**

---

# Diseño e Implementación de un Sistema de Información de Movilidad para Redes Heterogéneas

---



## TESIS DOCTORAL

*Memoria presentada para obtener el título de  
Doctor por la Universidad Complutense de Madrid  
en el Programa de Doctorado en Ingeniería Informática*

**Fábio Mesquita Buiati**

*Dirigida por el profesor*

**Luis Javier García Villalba**

Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid

Madrid, Junio de 2012



Tesis Doctoral presentada por el doctorando Fábio Mesquita Buiati en el *Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial* de la *Universidad Complutense de Madrid* para la obtención del título de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid en el Programa de Doctorado en Ingeniería Informática.

*Terminada en Madrid el 11 de Junio de 2012.*

*Título:*

**Diseño e Implementación de un Sistema de Información de Movilidad para Redes Heterogéneas**

*Doctorando:*

**Fábio Mesquita Buiati** (fabio@fdi.ucm.es)  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid  
28040 Madrid, España

*Director:*

**Luis Javier García Villalba** (javiergv@fdi.ucm.es)

Esta tesis doctoral ha sido realizada dentro del grupo de investigación GASS (Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas, grupo 910623 del catálogo de grupos reconocidos por la UCM) como parte de las actividades de los proyectos de investigación *Análisis, Diseño e Implementación de una Arquitectura Inteligente de Movilidad para Redes Móviles de Nueva Generación* (referencia TEC2010-18894) y *Servicios de Confianza en y para la Nube - TaaS* (referencia Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2010-482). Asimismo, ha sido subvencionada con la Ayuda MEC TME2009-00650 para la obtención de la Mención Europea en el título de Doctor, gracias a la cual parte de esta investigación ha sido realizada en el Instituto de Telecomunicaciones de la Universidad de Aveiro en Portugal.





# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi esposa, Jeane de Sena, que ha compartido conmigo uno de los mayores desafíos de mi vida. Por el amor, por el cariño y por la fuerza que me ha dado, le agradezco de corazón y la quiero muchísimo. ¡Siempre!

A mis padres y a mis hermanas, que siempre me han incentivado, me han apoyado y me han enseñado el camino. Ellos me han dado todo el soporte necesario para que yo pueda continuar avanzando en la vida. A todos mis tíos, primos y demás familiares que siempre me han dado también su confianza.

A mis amigos y amigas. Sin amigos no es posible llegar a ningún lugar. Ellos, de una u otra manera, han contribuido decisivamente a mis conquistas y constituyen a buen seguro parte de este trabajo. A mis queridos compañeros en Madrid. Vuestra alegría estará siempre conmigo. Me alegro muchísimo de haber aprendido con vosotros lo fácil que es valorar las cosas sencillas de la vida.

Al Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid (DISIA) por ofrecerme toda la infraestructura necesaria para el desarrollo de este trabajo. A los profesores con quien he tenido el placer de aprender, intercambiar ideas y, de una u otra forma, contribuir al avance de la ciencia y de la tecnología. A los alumnos que han interaccionado conmigo en este proceso de aprendizaje. También quisiera dar las gracias a Alicia Triviño por su apoyo y confianza.

Al Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas de la Universidad Complutense (Grupo GASS) al que pertenezco y, especialmente, a Robson, Ana, Nelson, Delfín, José e Ismail, que han compartido muchos momentos desde mi primer día en el Laboratorio y de los que he recibido continuo apoyo y ánimo.

Al Instituto de Telecomunicaciones de la Universidad de Aveiro en Portugal y, especialmente a Rui L. Aguiar, Susana Sargento y Daniel Corujo, por su permanente orientación. Agradezco también a Víctor Jesús, Alfredo Matos, Pedro Neves, Frank Knaesel y Lucas Guardalben por las interminables discusiones. ¡Gracias!

A Javier, Director del presente trabajo, que se ha convertido además en un gran amigo. Esta Tesis ha sido posible gracias a su constante ayuda, orientación y estímulo. Le quedará eternamente agradecido por todas las facilidades que me ha brindado desde el primer momento.

Agradezco también a Dios, que siempre ha estado conmigo en los buenos y en los malos momentos. Mis sinceros agradecimientos a todos.

La presente Tesis Doctoral ha sido financiada por el Proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación *Análisis, Diseño e Implementación de una Arquitectura Inteligente de Movilidad para Redes Móviles de Nueva Generación* (referencia TEC2010-18894) y por el Proyecto del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio *Servicios de Confianza en y para la Nube - TaaS* (referencia Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2010-482).

Asimismo, ha sido subvencionada con la Ayuda MEC TME2009-00650 para la obten-

ción de la Mención Europea en el título de Doctor (de conformidad con el artículo 10.6 de la Orden EDU/2933/2009, de 23 de octubre por la que se hizo pública la convocatoria de subvenciones para favorecer la movilidad de profesores y de estudiantes en enseñanzas de doctorados para el curso académico 2009-2010, BOE del 2 de noviembre), gracias a la cual parte de esta investigación ha sido realizada en el Instituto de Telecomunicaciones de la Universidad de Aveiro en Portugal.

## Resumen

El auge actual de las comunicaciones inalámbricas (Wi-Fi, Wi-Max y 3G) junto con el desarrollo de dispositivos móviles más ligeros y potentes ha propiciado que cada vez sea más habitual que los usuarios se desplacen con sus dispositivos al mismo tiempo que demandan conectividad en cualquier momento y en cualquier lugar. En la Internet móvil del futuro habrá miles de redes pertenecientes a diferentes operadores, razón por la que el usuario tendrá la opción de desplazarse y conectarse a diferentes redes de acceso. El retardo a la hora de cambiar de red es un factor determinante en la movilidad de los usuarios. Diversas son las métricas y variables que influyen en el tiempo de una transición entre redes, siendo el tiempo de descubrimiento de redes vecinas lo más destacable.

Usualmente, el usuario móvil realiza un barrido a través de su interfaz de red activa. Entre las redes encontradas la que tenga una mejor señal de recepción se elige como red de destino. Este procedimiento no es aconsejable por el gran consumo de energía que implica cada barrido realizado. Además, la realización de un barrido en cada interfaz de red disponible conlleva un excesivo procesamiento y sobrecarga por parte del dispositivo móvil. Es obvio que esta técnica de descubrimiento de redes no es la más apropiada para dispositivos que tienen muchas interfaces de red y poseen gran movilidad. Otro inconveniente es que la información obtenida utilizando esta técnica es bastante reducida.

En las redes de nueva generación el usuario móvil podrá utilizar algún servidor que almacene información de sus redes vecinas con el objetivo de reducir el procesamiento y la sobrecarga en el proceso de descubrimiento de redes. En el estándar IEEE 802.21 se especifica una entidad de red conocida como servidor de información que almacena información de redes existentes dentro de un área geográfica. Información como la lista de los puntos de acceso en una determinada zona de la ciudad, la localización de los nodos móviles y la disponibilidad de servicios de las capas superiores (calidad de servicio, coste de uso, seguridad) pueden almacenarse en este servidor. Utilizando esta técnica, el usuario puede recibir una lista de redes vecinas a su posición geográfica al conectarse a una red, ahorrándose de esta forma la tarea de rastrear redes en búsqueda de una posible transición. Sin embargo, la especificación de un sistema que administre la distribución de información de red es un gran desafío, especialmente en entornos con múltiples operadores.

En este trabajo se especifica un sistema de información de movilidad para redes heterogéneas. El objetivo principal es establecer las bases para la construcción a gran escala, de un conjunto de servidores de información que ofrezca al usuario información detallada de las redes de acceso y que facilite las transiciones en entornos heterogéneos. Este sistema considera la división de las redes de acceso en zonas de movilidad clasificadas jerárquicamente y gestionadas por diferentes tipos de servidores de información. A través de esta visión jerárquica se puede lograr tanto la obtención de información detallada de una red de acceso de un operador como el intercambio de información entre zonas de diferentes operadores permitiendo atender cualquier tipo de ambiente, sea éste constituido solamente por un operador con algunos puntos de acceso hasta ambientes que tengan varios operadores y miles de redes.

Las simulaciones realizadas fueron llevadas a cabo con la herramienta *Network Simulator* (NS-2). Los resultados demuestran que el sistema de información de movilidad propuesto mejora significativamente la experiencia móvil del usuario reduciendo el tiempo de descubrimiento de redes vecinas y mejorando considerablemente la calidad de las transiciones.

**Palabras clave:** IEEE 802.21, servidor de información, redes heterogéneas, movilidad, MIIS, MIH, NS-2.



# Índice General

<b>I</b>	<b>Resumen de la Investigación</b>	<b>xvii</b>
<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Motivación . . . . .	3
1.2	Trabajo Relacionado . . . . .	5
1.3	Objetivos . . . . .	9
1.4	Estructura de la Memoria . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Tecnologías Inalámbricas</b>	<b>11</b>
2.1	Introducción . . . . .	11
2.2	Redes Wi-Fi - IEEE 802.11 . . . . .	11
2.2.1	Descubrimiento de Redes Wi-Fi . . . . .	12
2.3	Redes Wi-Max - IEEE 802.16 . . . . .	15
2.3.1	Descubrimiento de Redes Wi-Max . . . . .	16
2.4	Redes de Telefonía . . . . .	16
2.4.1	Descubrimiento de Redes de Telefonía . . . . .	19
2.5	Redes Móviles de Nueva Generación (4G) . . . . .	19
2.5.1	Arquitectura General . . . . .	20
2.5.2	Características . . . . .	21
2.6	Dispositivos Móviles en Redes 4G . . . . .	21
2.7	Movilidad . . . . .	23
2.7.1	Transición . . . . .	23
2.7.2	Clasificación . . . . .	23
2.7.3	Fases de una Transición . . . . .	26
2.7.4	Protocolos de Movilidad . . . . .	29
2.8	Síntesis del Capítulo . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Transición Independiente del Medio</b>	<b>35</b>
3.1	Introducción . . . . .	35
3.2	Características . . . . .	37
3.3	Servicios MIH . . . . .	39
3.3.1	Servicio de Eventos Independiente del Medio . . . . .	40
3.3.2	Servicio de Comandos Independiente del Medio . . . . .	42
3.3.3	Servicio de Información Independiente del Medio . . . . .	43
3.4	Escenario Común de Movilidad . . . . .	48
3.5	Síntesis del Capítulo . . . . .	50

<b>4</b>	<b>Sistema de Información de Movilidad</b>	<b>53</b>
4.1	Introducción . . . . .	53
4.2	Requisitos . . . . .	55
4.3	Arquitectura Jerárquica de Servidores MIIS . . . . .	57
4.4	Modelo Conceptual . . . . .	60
4.5	Servidor MIIS Zonal . . . . .	61
4.5.1	Elementos de Información . . . . .	64
4.5.2	Señalización . . . . .	65
4.6	Servidor MIIS Local . . . . .	66
4.6.1	Elementos de Información . . . . .	70
4.6.2	Señalización . . . . .	70
4.7	Servidor MIIS Global . . . . .	72
4.7.1	Elementos de Información . . . . .	73
4.7.2	Acuerdo de Nivel de Servicio entre Servidores MIIS Global . . . . .	74
4.7.3	Señalización . . . . .	76
4.8	Síntesis del Capítulo . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Mecanismo de Caché para el Sistema de Información</b>	<b>81</b>
5.1	Introducción . . . . .	81
5.2	Caché Jerárquica de Información de Movilidad . . . . .	83
5.2.1	Modelo Conceptual . . . . .	83
5.2.2	Acuerdo de Servicio . . . . .	83
5.2.3	Política de Reemplazo . . . . .	85
5.3	Funcionamiento . . . . .	86
5.4	Síntesis del Capítulo . . . . .	87
<b>6</b>	<b>Simulación y Resultados</b>	<b>89</b>
6.1	Introducción . . . . .	89
6.2	Modelo . . . . .	90
6.2.1	Retardo en el Descubrimiento de la Información . . . . .	91
6.2.2	Probabilidad de Encontrar la Información en cada Servidor MIIS . . . . .	92
6.2.3	Retardo Medio versus Número de Saltos . . . . .	93
6.3	Métricas Evaluadas . . . . .	95
6.4	Movimiento Lineal del Usuario . . . . .	95
6.4.1	Escenario . . . . .	95
6.4.2	Rendimiento . . . . .	97
6.4.3	Latencia . . . . .	98
6.5	Movimiento Aleatorio del Usuario . . . . .	99
6.5.1	Escenario . . . . .	100
6.5.2	Número de Transiciones Óptimas . . . . .	103
6.5.3	Efecto del Número de Puntos de Acceso por Zona de Movilidad . . . . .	104
6.5.4	Sobrecarga . . . . .	105
6.5.5	Evaluación del Mecanismo de Caché . . . . .	105
6.6	Retardo de la Exploración . . . . .	107
6.6.1	Escenario . . . . .	109
6.6.2	Resultados . . . . .	109
6.7	Síntesis del Capítulo . . . . .	110
<b>7</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>113</b>
7.1	Trabajos Futuros . . . . .	114

<b>II</b>	<b>Anexo: Publicaciones</b>	<b>121</b>
<b>III</b>	<b>Appendix: Summary of the Research</b>	<b>179</b>
<b>8</b>	<b>Introduction</b>	<b>185</b>
8.1	Motivation . . . . .	186
8.2	Related work . . . . .	188
8.3	Main contributions . . . . .	190
8.4	Outline of the thesis . . . . .	191
<b>9</b>	<b>IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH)</b>	<b>193</b>
9.1	Introduction . . . . .	193
9.2	Characteristics . . . . .	194
9.3	MIH services . . . . .	196
9.3.1	Media independent event service (MIES) . . . . .	196
9.3.2	Media independent command service (MICS) . . . . .	197
9.3.3	Media independent information service (MIIS) . . . . .	197
9.4	Basic handover scenario . . . . .	199
9.5	Summary . . . . .	201
<b>10</b>	<b>Mobility Information System Deployment</b>	<b>203</b>
10.1	Introduction . . . . .	203
10.2	Conceptual model . . . . .	206
10.3	Zone MIIS server (ZMIIS) . . . . .	207
10.4	Local MIIS server (LMIIS) . . . . .	208
10.5	Global MIIS server (GMIIS) . . . . .	209
10.5.1	Service level agreement between GMIIS servers . . . . .	210
10.6	Detailed operation . . . . .	212
10.7	Heterogeneous scenario . . . . .	215
10.8	Summary . . . . .	216
<b>11</b>	<b>Simulation and Results</b>	<b>217</b>
11.1	Introduction . . . . .	217
11.2	Analytical model . . . . .	218
11.2.1	MIIS query delay . . . . .	218
11.2.2	Probability of finding point of attachment information . . . . .	220
11.2.3	Average MIIS query delay per number of hops . . . . .	221
11.3	Measured parameters . . . . .	222
11.4	Linear mobility . . . . .	222
11.4.1	Simulation scenario . . . . .	223
11.4.2	Throughput . . . . .	224
11.4.3	Neighbor discovery time . . . . .	225
11.5	Random mobility . . . . .	225
11.5.1	Simulation scenario . . . . .	226
11.5.2	Mean number of optimal handovers . . . . .	228
11.5.3	Effect of the number of point of attachments per mobility zone . . . . .	230
11.5.4	Communication overhead . . . . .	230
11.6	Scanning delay . . . . .	231
11.6.1	Simulation scenario . . . . .	232



11.6.2 Results . . . . .	233
11.7 Summary . . . . .	235
<b>12 Concluding Remarks and Future Work</b>	<b>237</b>
12.1 Future work . . . . .	238

# Índice de Figuras

1.1	Arquitectura general del estándar IEEE 802.21	2
1.2	Escenario de movilidad entre redes heterogéneas	4
2.1	Ejemplo de una red Wi-Fi	12
2.2	Exploración pasiva en redes Wi-Fi	13
2.3	Exploración activa en redes Wi-Fi	15
2.4	Ejemplo de una red Wi-Max	16
2.5	Clasificación de transición	24
2.6	Tipos de transiciones	26
2.7	Fases de una transición	27
2.8	Funcionamiento del protocolo IP Móvil	30
3.1	Arquitectura general del estándar IEEE 802.21	36
3.2	Entidades del estándar IEEE 802.21	37
3.3	Servicios MIH	40
3.4	Eventos MIH	42
3.5	Comandos MIH	44
3.6	Mapa global del servicio de información	46
3.7	Ejemplo de una transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max	49
4.1	Información relevante en una transición entre redes heterogéneas	54
4.2	Arquitectura jerárquica de servidores MIIS	58
4.3	Arquitectura jerárquica de Internet	60
4.4	Modelo conceptual del sistema de movilidad	61
4.5	Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Zonal	62
4.6	Ubicación física del servidor MIIS Zonal	64
4.7	Elementos de Información de un Servidor MIIS Zonal	65
4.8	Comunicación entre el usuario y el MIIS Zonal	67
4.9	Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Local	68
4.10	Ubicación física del servidor MIIS Local	69
4.11	Elementos de Información de un servidor MIIS Local	70
4.12	Comunicación entre el usuario y el MIIS Local	71
4.13	Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Global	73
4.14	Ubicación física del servidor MIIS Global	74
4.15	Elementos de Información de un servidor MIIS Global	75
4.16	Comunicación entre el usuario y el MIIS Global	78
5.1	Caché Web	82
5.2	Caché Jerárquica	84
6.1	Probabilidad versus retardo servidores MIIS	93

6.2	Retardo medio de acceso al servidor MIIS	94
6.3	Escenario - movimiento lineal	96
6.4	Rendimiento del usuario	97
6.5	Latencia de la transición	99
6.6	Escenario de simulación - ubicación física de los servidores MIIS	100
6.7	Escenario de simulación - disposición de las redes Wi-Fi y Wi-Max	101
6.8	Efecto del número de puntos de acceso por zona de movilidad	105
6.9	Escenario	109
6.10	Comparativa del retardo de la exploración en redes Wi-Fi	111
8.1	Handover phases	186
8.2	Metrics to be considered in heterogeneous handovers	187
9.1	IEEE 802.21 general architecture	194
9.2	IEEE 802.21 MIH services	196
9.3	Information elements (IE)	199
9.4	Basic handover scenario	200
10.1	Hierarchical MIIS architecture design	205
10.2	HMIIS conceptual model	206
10.3	ZMIIS server information elements	208
10.4	LMIIS server information elements	209
10.5	GMIIS server information elements	211
10.6	HMIIS detailed operation	216
11.1	Probability of finding point of attachments information on the ZMIIS server	220
11.2	Average MIIS query delay	221
11.3	Simulated heterogeneous scenario	223
11.4	Average MN throughput	224
11.5	Simulation scenario - MIIS physical network placement	226
11.6	Wi-Fi and Wi-Max networks disposal	228
11.7	Effect of the number of point of attachments per mobility zone	230
11.8	Simulation scenario	233
11.9	Total scanning delay comparison	234

# Índice de Tablas

2.1	Tramas de aviso	14
2.2	Inicialización de un nodo en una red Wi-Max	17
2.3	Redes inalámbricas y sus características	22
3.1	Funciones de administración de servicios	41
3.2	Eventos MIH	43
3.3	Comandos MIH	44
3.4	Elementos de información (IE)	47
4.1	Acuerdo de servicio entre servidores MIIS	76
4.2	Comparativa de las características de los tipos de servidores MIIS	77
5.1	Acuerdo de servicio entre cachés MIIS	85
6.1	Métricas del modelo	92
6.2	Características de las redes de acceso	97
6.3	Características de la simulación	102
6.4	Número de transiciones óptimas en función de la velocidad del usuario	103
6.5	Sobrecarga (en bytes)	106
6.6	Retardo en el descubrimiento de información utilizando caché	107
6.7	Parámetros de la simulación	110
9.1	Information Elements (IE)	198
10.1	MLSA model	212
10.2	MIIS Deployment Scenarios Comparison	213
11.1	Analytical model parameters	219
11.2	Access networks characteristics	223
11.3	Neighbor discovery time	225
11.4	Simulation parameters	227
11.5	Number of optimal handovers (HO) in function of the MN speed	229
11.6	Overhead (en bytes)	231
11.7	Simulation parameters	234



## Parte I

# Resumen de la Investigación



# Capítulo 1

## Introducción

Usted está listo para lo que podría ser la reunión más importante del año en su compañía. Tiene en sus manos su comunicador personal mientras toma un taxi para encontrarse con sus compañeros en una cafetería cercana antes de salir para el aeropuerto. Su comunicador es un teléfono móvil de última generación que tiene diversas interfaces de comunicación como GPS, Wi-Fi, 3G, Bluetooth y banda ancha inalámbrica Wi-Max.

A medida que se acerca a una cafetería, la capacidad de movilidad inteligente de su comunicador detecta un *hotspot* Wi-Fi y acciona la interfaz WLAN. Mientras se reúne con sus compañeros de trabajo empieza a descargar un anexo de última hora para su presentación utilizando la red local inalámbrica Wi-Fi de la cafetería. Al mirar el reloj descubre que está atrasado. Mientras usted sale de la cafetería para tomar un taxi en dirección al aeropuerto pierde su conectividad Wi-Fi y su comunicador pasa su conexión a la red Wi-Max para mantener la operación de descarga en curso. Paralelamente, usted hace un par de llamadas rápidas utilizando la red celular 3G. En su camino hacia el aeropuerto su comunicador le avisa que le queda poca batería y pasa a una conexión GPRS que consume menos energía cerrando la conexión Wi-Max. En el aeropuerto usted conecta su comunicador a un enchufe y el comunicador se conecta por Wi-Fi una vez más, después de haber detectado un *hotspot* para completar la descarga del archivo.

Este escenario, que será real en muy poco tiempo (o ya lo es), incluye un dispositivo de comunicación personal con cinco interfaces de radio, obteniendo servicios de cuatro proveedores de red u operadores diferentes, con velocidades de transmisión de datos que van desde 7,2 Mbps para el servicio celular, 600 Mbps para las redes Wi-Fi en la cafetería y en el aeropuerto y hasta 1 Gbps para la red de banda ancha Wi-Max. El escenario anterior dramatiza la premisa básica del estilo de vida móvil emergente: la conectividad siempre presente en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando las redes disponibles [SQG05].

Cuando se habla de movilidad e interoperabilidad entre redes, el usuario espera que el retardo sea mínimo o inexistente y que todo sea realizado sin intervención humana alguna. Para optimizar la transición entre los medios heterogéneos se creó el estándar IEEE 802.21 [IEE09] a principios del año 2009. Este estándar se encarga de mejorar la experiencia del usuario y facilitar las transiciones entre distintas redes de comunicación, como son las redes 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), 3GPP2 [3GP06] y las redes inalámbricas pertenecientes a la familia IEEE 802: Wi-Fi [IEE99] y Wi-Max [IEE05]. El estándar también se conoce como Transición Independiente del Medio (MIH, del inglés *Media Independent Handover*).

El estándar proporciona una arquitectura de movilidad que permite gestionar la interconexión de distintas redes inalámbricas posibilitando una continuidad de servicio trans-



parente mientras que el terminal móvil hace la conmutación entre las tecnologías. Como se muestra en la Figura 1.1, la arquitectura de movilidad consta de 3 niveles. En el nivel intermedio está la Función de Transición Independiente del Medio (MIHF, del inglés *Media Independent Handover Function*) que es el principal componente del estándar IEEE 802.21. El MIHF se encarga de gestionar la comunicación entre las capas inferiores y superiores. En el nivel superior están los usuarios MIH, que son aplicaciones o protocolos de movilidad (p.e. IP Móvil [PRP02]) que utilizan la información ofrecida por el MIHF para decidir cuándo hacer la transición entre dos redes. Por último, el nivel inferior se refiere a información relativa a las capas física y de enlace, es decir, todos los cambios que ocurren en la interfaz se generan en este nivel y se envían al MIHF. De lo anteriormente expuesto se desprende que hay un conjunto de servicios que son necesarios para que haya comunicación entre las capas inferiores y las capas superiores de la arquitectura de movilidad.

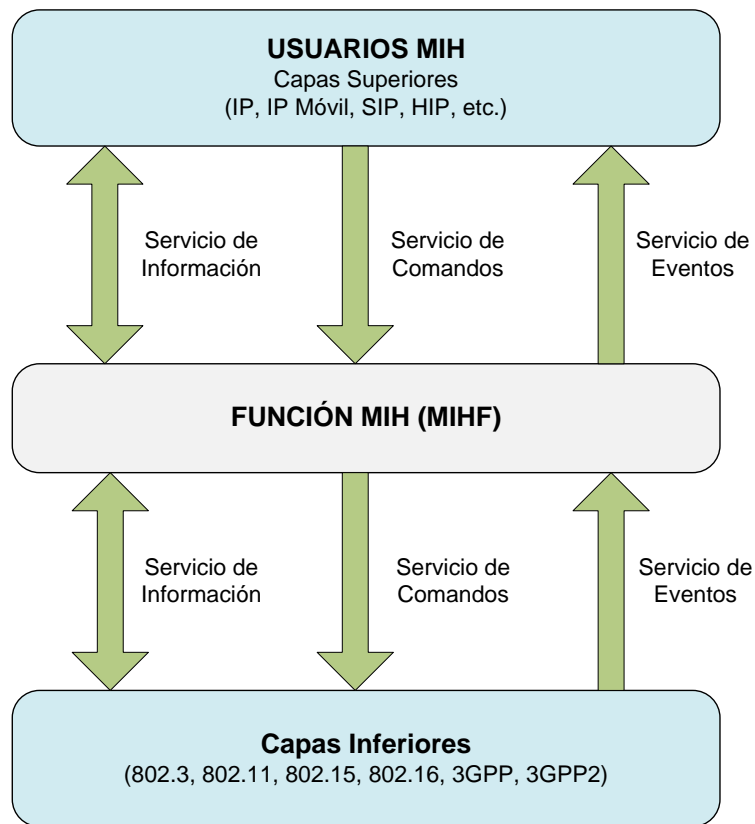


Figura 1.1: Arquitectura general del estándar IEEE 802.21

La función MIH ofrece 3 tipos distintos de servicios. Estos servicios son:

- **Servicio de Eventos:** servicio que detecta cambios en las propiedades de las capas físicas y de enlace y dispara eventos que se envían a la función MIH. Estos eventos pueden generarse tanto en el MIH local como en uno remoto. Un ejemplo de un servicio de evento es el nivel de recepción de la potencia de la señal por parte de un nodo móvil. Cuando la señal empieza a debilitarse, la capa de enlace envía un evento a la función MIH. Basándose en esta información, el usuario móvil cambia su conexión, conectándose a una red con mejor señal.

- **Servicio de Comandos:** servicio que permite a los usuarios MIH controlar, configurar y obtener información de las capas inferiores incluyendo las capas física y de enlace. Como ejemplo se puede mencionar el comando *Link Get Parameters* que permite a los usuarios MIH descubrir información de la interfaz activa como relación señal ruido, tasa de errores de datos, nivel de recepción de la señal, etc.
- **Servicio de Información:** servicio que ofrece mecanismos que permiten a una función MIH descubrir y obtener información de las redes existentes dentro de un área geográfica. Se puede modelar el servicio de información como una base de datos que almacena información de las redes (tipo de red, frecuencia utilizada, seguridad, coste del servicio, velocidad de transmisión, configuraciones IP, etc.).

Un ejemplo de cómo de útil puede ser el estándar IEEE 802.21 en la movilidad de los usuarios puede encontrarse cuando un usuario hace uso de la aplicación de VoIP Skype. En un determinado momento la interfaz de red (nivel inferior) detecta que la calidad de la señal está disminuyendo considerablemente notificándolo al MIHF. El MIHF lo comunica a la aplicación Skype (nivel superior) que toma la decisión de seguir en esta red y sufrir posiblemente una pérdida de información o bien decide cambiar de red buscando una conexión que le proporcione una mejor calidad de comunicación.

Este capítulo tiene por objeto ubicar el presente trabajo de investigación. La sección 1.1 contiene la motivación del mismo. La sección 1.2 resume los principales trabajos existentes en el área. La sección 1.3 delimita el tema presentando los objetivos de este trabajo. Finalmente, la sección 1.4 muestra la organización de los siguientes capítulos de esta memoria.

## 1.1 Motivación

La posibilidad de hacer transiciones de las conexiones de voz, de vídeo y de datos en cualquier momento y en cualquier lugar es muy atractivo para el usuario final. A medida que el nuevo estilo de vida móvil se hace más presente, los dispositivos de funciones fijas de red abren paso a dispositivos móviles multifuncionales. Diariamente salen al mercado teléfonos Wi-Fi, GPS y 3G. Este hecho unido a la promesa de un ancho de banda aún mayor y mejores experiencias de usuario dan impulso a la adopción de una Internet cada vez más inalámbrica.

En la Figura 1.2 se puede vislumbrar un esquema de cómo será (es) el nuevo entorno de comunicación de un usuario móvil donde redes de acceso Wi-Fi, Wi-Max y 3G pueden coexistir. En este ejemplo un usuario móvil se mueve por una determinada área de la ciudad de Madrid, teniendo la posibilidad de conectarse a diferentes tipos de tecnologías inalámbricas pertenecientes a diferentes operadores. La elección de una red se basa en las preferencias del usuario. Así, puede conectarse solamente a redes gratuitas, a las redes que ofrezcan un ancho de banda suficiente para que pueda seguir disfrutando de una aplicación de música o de vídeo, etc.

La llegada de nuevos dispositivos móviles compatibles con múltiples radios proporciona grandes desafíos, particularmente en lo relativo a la movilidad. Los dispositivos deberán ser capaces de detectar y seleccionar automáticamente la mejor red inalámbrica y de proporcionar una transición transparente de una red a otra.

En redes celulares la transición entre estaciones base es automática y el usuario apenas nota un retardo o pérdida de información en la conversación. El nivel de la señal normalmente es el parámetro por el cual el dispositivo móvil decide elegir una red u otra. En redes IP [Pos81a], como las redes Wi-Fi y Wi-Max, esta transición tiene mayor complejidad, ya

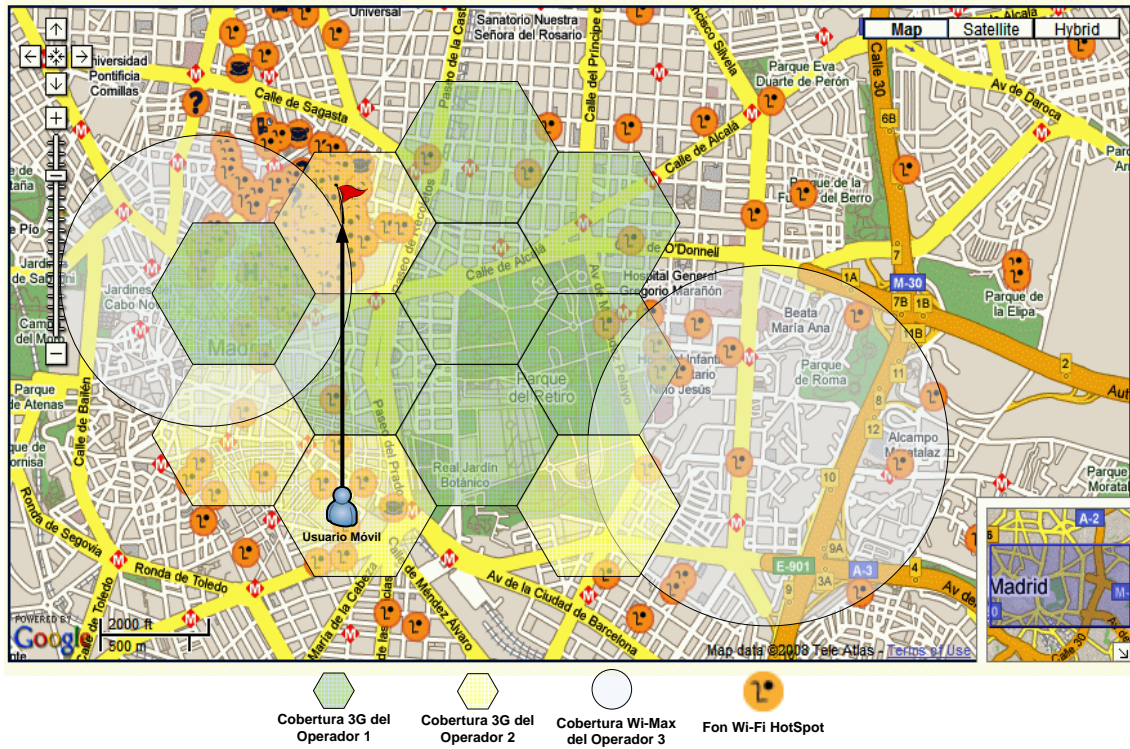


Figura 1.2: Escenario de movilidad entre redes heterogéneas

que factores como la calidad de servicio (QoS), la seguridad, el coste, el tipo de red, las configuraciones IP, las prestaciones del terminal móvil, etc., influyen de forma considerable en la decisión de elegir la mejor red. Unir todas estas tecnologías con arquitecturas diferentes, algunas con protocolos e implementaciones propias, es un gran reto.

Para que un usuario móvil pueda utilizar todas las redes del escenario de la Figura 1.2 y disfrutar de una comunicación ininterrumpida durante todo su trayecto, debe realizar tres tareas:

- Descubrir las redes disponibles en una determinada zona geográfica.
- Elegir una de las redes de acuerdo con sus preferencias.
- Ejecutar la transición de una red a otra.

De las tres fases anteriores la tarea de descubrimiento de redes es la que más tiempo demanda por parte del usuario, ya que debe realizar un barrido de forma periódica para buscar nuevas redes. Como se ha comentado anteriormente, el estándar ofrece un servicio de información (MIIS) donde el usuario puede obtener información sobre las redes en una determinada zona, que estaría almacenada en un servidor central. Utilizando este servidor, un usuario conectado a una red Wi-Fi puede saber de la existencia de redes 3G o Wi-Max sin la necesidad de activar la interfaz de estas tecnologías, ahorrando tiempo y energía.

Cuando aparece el servidor de información en la literatura, se le atribuyen las siguientes características:

- El servidor está ubicado físicamente en algún lugar del *backbone* del operador.

- El usuario o alguna entidad de la red envía un mensaje de solicitud de información al servidor, que responde al usuario móvil con información detallada de las redes de acceso disponibles.

De forma resumida, el estándar así como la práctica totalidad de los trabajos existentes (véase sección 1.2) consideran la existencia de un servidor de información que responde a las solicitudes de los usuarios con información de las redes disponibles. Estas propuestas son bastante limitadas en lo que se refiere a la arquitectura de servidores de información, a su funcionamiento y a la gestión de información de movilidad, sobre todo si consideran escenarios heterogéneos y a gran escala. La cantidad de redes de acceso, operadores y usuarios móviles impactan directamente en la provisión de información por parte del servidor, pudiendo afectar a la calidad de la información ofrecida al usuario, haciendo que el usuario tenga una visión errónea de las redes y los recursos disponibles. Asimismo, otro problema común a las propuestas existentes es la especificación de un único servidor para gestionar toda la información de movilidad, lo que acarrea muchos inconvenientes:

- **Demasiada información que almacenar** si existen cientos o miles de redes de acceso y decenas de operadores.
- La existencia de un **único punto de fallo** en la red.
- **Gran retardo** en recibir la información si el servidor MIIS está a muchos saltos del usuario móvil.
- **Elevada sobrecarga**, ya que cada solicitud de información del usuario tiene que llegar al único servidor existente.
- Baja o **ninguna escalabilidad** si hay muchas peticiones simultáneas en escenarios con gran número de usuarios.

Es evidente que el uso de un servidor de información para una ciudad o para un país con diferentes operadores no es lo más deseable, puesto que si el servidor envía al usuario información errónea, puede que realice una transición equivocada.

La motivación de este trabajo es, por tanto, la especificación de un sistema de información de movilidad, que comunicará al usuario móvil las redes y los recursos disponibles en una determinada zona geográfica. Este sistema permitirá reducir el tiempo de descubrimiento de información de redes vecinas y mejorar la calidad de las transiciones entre redes de diferentes tecnologías y en ambientes con múltiples operadores.

## 1.2 Trabajo Relacionado

Durante los últimos años el estándar IEEE 802.21 ha aglutinado a un gran número de investigadores. Los esfuerzos se han centrado principalmente en dos temáticas:

- Utilizar el estándar para optimizar las transiciones entre redes heterogéneas.
- Analizar la funcionalidad del servicio MIIS.

Esta última temática puede dividirse, a su vez, en dos: por un lado, la formulación de propuestas que utilizan la información proporcionada por el servicio MIIS, y por otro, aquellas otras que versan sobre el concepto, funcionamiento y arquitectura del servicio MIIS.

Seguidamente se analiza la literatura más relevante en cada una de las temáticas consideradas.

Los siguientes trabajos se centran en optimizar las transiciones entre redes heterogéneas:

[CV06] especifica una entidad centralizada denominada *Gestor de Movilidad* que se comunica con las capas inferiores del estándar IEEE 802.21 y que es responsable de ocultar la heterogeneidad de las redes al usuario final. A través de una experimentación real los autores demuestran que utilizando el estándar y el gestor de movilidad propuesto, el usuario logra mejores transiciones y obtiene mayor rendimiento en una comunicación utilizando el protocolo VoIP (*Voice over IP*).

[LSP08] propone el uso del estándar IEEE 802.21 para atender las necesidades de calidad del servicio ó QoS (*Quality of Service*) del usuario móvil de forma que apenas se note una mínima interrupción en las transiciones. Asimismo, se especifican los mensajes que se intercambian las entidades cuando un usuario realiza una transición entre dos puntos de acceso. Por último, se menciona que algunos aspectos no son cubiertos por el estándar como, por ejemplo, el mecanismo de seguridad, el algoritmo de decisión de transición y la ejecución de la transición a nivel de capa de red.

[PSJ<sup>+</sup>08] utiliza los servicios del estándar IEEE 802.21 para abordar la integración de las redes Wi-Fi y Wi-Max, centrándose en el intercambio de mensajes entre el usuario y las entidades de red. También se describen arquitecturas y futuros escenarios para redes móviles y para redes inalámbricas heterogéneas con múltiples saltos.

[TOF<sup>+</sup>09] describe los servicios del estándar IEEE 802.21 contemplando algunos escenarios de movilidad en entornos heterogéneos. Asimismo, aborda cuestiones de implementación en Java y Linux, lo que facilita la interoperabilidad. Por último, expone los principales desafíos que surgen a la hora de implementar el estándar comentando cómo lograr la aceptación y el despliegue del estándar IEEE 802.21.

Finalmente, [LSN10] propone la integración de las redes Wi-Fi y Wi-Max analizando la petición y reserva de recursos a nivel de capa de enlace y la gestión de energía del terminal móvil. Para ello plantea un cambio en el estándar IEEE 802.21 haciendo énfasis en la asignación de primitivas entre el estándar IEEE 802.21 y las diferentes capas de interconexión con otras tecnologías de red y en las mejoras de los estándares relacionados.

Los siguientes trabajos se centran en la información proporcionada por el servicio MIIS:

[WCCH06] presenta un algoritmo de decisión de transición basado en el perfil de usuario. Este algoritmo utiliza el servidor MIIS para obtener información de red como dirección de enlace e información del estado del enlace para una óptima selección de la red destino. Los resultados de la simulación, que describe un caso de uso utilizando mayoritariamente redes Wi-Fi, demuestran que el usuario realiza mejores transiciones y sufre menos pérdidas de paquetes utilizando el algoritmo propuesto.

[SC07] propone una interesante solución para transiciones verticales entre redes Wi-Max y 3GPP gracias a un novedoso mecanismo de gestión de movilidad, en el que el usuario móvil puede hacer transiciones aunque no tenga el protocolo IP Móvil [PRP02] instalado. Sin embargo, requiere importantes cambios relativos a la estructura de la red y a las entidades participantes en el proceso de transición.

[MYNF07] diseña un mecanismo que optimiza el protocolo de movilidad IPv6 Móvil Rápido [Koo08] en redes VANET (*Vehicular Ad Hoc Networks*) gracias a los servicios MIH. Para ello define un servidor MIIS que almacena tanto información estática (coste, tipo de red, identificador del operador, etc.) como dinámica (ancho de banda, calidad de servicio, usuarios conectados, tasa de errores del enlace, etc.) de las redes vecinas. El trabajo permite concluir que la utilización del protocolo IPv6 Móvil Rápido conjuntamente



con los servicios que ofrece el estándar IEEE 802.21 mejora notablemente el tiempo de transición.

[FCL<sup>+</sup>07] contempla la integración de los servicios MIH en un Subsistema Multimedia IP (IMS, del inglés *IP Multimedia Subsystem*) con el fin de optimizar la calidad de servicio extremo a extremo. Su arquitectura transversal considera el intercambio entre servidores MIIS de información relativa a la calidad y al coste del servicio, especificándose dos tipos de servidores MIIS: uno en el operador al que está conectado el usuario y otro perteneciente al otro operador. Se asume que los servidores MIIS tienen un acuerdo de nivel de servicio y que intercambian información relevante. Sin embargo, no se proporciona especificación alguna de la infraestructura de servidores MIIS, detalles de su funcionamiento, tipo de información almacenada y protocolo de comunicación entre servidores.

[BKS<sup>+</sup>08] especifica un mecanismo de transición entre redes UMTS y Wi-Max utilizando el servidor MIIS con información relevante de las redes vecinas como la calidad de servicio de las mismas. Para facilitar la continuidad del servicio cuando el usuario se desplaza entre redes se recurre a un nuevo mecanismo que consta de tres pasos: medición de la calidad de servicio, reserva pasiva de los recursos y activación de la reserva. La simulación realizada en NS-2 permite concluir que el mecanismo propuesto mejora la transición del usuario y garantiza la calidad de servicio requerida por el mismo.

[LMKL09b] introduce un nuevo algoritmo de decisión de transición basado en una función del coste de conexión de la red (información ésta proporcionada por el servidor MIIS) bastante flexible que permite balancear diferentes factores en la toma de decisión y mejorar la eficiencia energética de las transiciones.

[CIRG09] explora el servicio MIIS permitiendo que un usuario se autentique con la red de destino mientras está conectado a su red actual, disminuyendo así el tiempo de transición. Esto es posible puesto que los *routers* de la red se registran en el servidor MIIS utilizando un nuevo mensaje denominado *MIH Set Information Request* que contiene información como la localización geográfica del *router*, su dirección IP, información de la capa de enlace, distancia a los *routers* vecinos, etc. Una vez que el servidor MIIS tiene almacenada la información de los *routers* de la red, el usuario puede utilizarla y realizar una autenticación previa, mejorando así el rendimiento en las transiciones.

[LKS<sup>+</sup>09] descubre los puntos de acceso Wi-Fi haciendo uso del servidor MIIS, lo que posibilita que el usuario pueda obtener información de las diversas redes Wi-Fi a través de una interfaz común, independientemente del tipo de red a la que esté conectado actualmente. Este nuevo esquema de descubrimiento, que no requiere ninguna modificación de los protocolos existentes, se basa en que el servidor MIIS proporciona al usuario una lista de canales utilizados por los puntos de acceso vecinos. Al recibir el mensaje de respuesta del servidor el usuario lleva a cabo un procedimiento de barrido selectivo en vez de realizar un barrido completo, reduciendo así el tiempo de detección de redes.

[LMKL09a] utiliza una función de coste para realizar una selección óptima de la red destino con la información proporcionada por el servidor MIIS. Esta propuesta, muy similar a la presentada anteriormente [LMKL09b], consigue una mejora significativa en el consumo de energía a la hora de moverse entre redes vecinas mediante la utilización del servidor MIIS, ya que el usuario realiza un barrido selectivo en vez de un barrido total de los canales de las redes. Un aspecto a tener en cuenta es la utilización del acelerómetro del dispositivo móvil como punto de inicio para la realización del barrido. En otras palabras, si el acelerómetro se activa, significa que el usuario ha empezado a moverse y que debe realizar un barrido para detectar redes vecinas. Por el contrario, si el acelerómetro no se activa, el usuario no está realizando movimiento alguno, no buscando nuevas redes con el consiguiente ahorro de energía.

[YCG10] muestra un esquema que utiliza el retardo medio de comunicación entre puntos de acceso vecinos como parámetro de decisión a la hora de hacer una transición. Con esta información almacenada en un servidor MIIS central el usuario puede estimar el tiempo de entrega de la información requerida y decidir el mejor momento para cambiar de red. El trabajo hace un análisis detallado del coste de obtener esta información de un servidor MIIS, teniendo en cuenta factores como el número de saltos entre el usuario y el servidor, el retardo del enlace en cada una de las tecnologías utilizadas, el tiempo de procesamiento del servidor MIIS para la entrega de la información y el tiempo que el usuario necesita para hacer un barrido en diferentes tecnologías.

Finalmente, [KA11] plantea el uso del servicio MIIS para que el usuario adquiera la información del canal de configuración y luego la utilice para analizar un conjunto limitado de canales utilizados por los puntos de acceso vecinos en lugar de hacer un barrido de todos los canales posibles, lo que retrasaría la transición. Como el punto de acceso y el usuario móvil deben ser equipos que posean características de localización geográfica, su alcance es bastante limitado, no siendo válida esta solución en escenarios genéricos con servidores MIIS, ya que actualmente no todos los equipos inalámbricos gozan de esta funcionalidad.

Los siguientes trabajos se centran en el concepto, especificación y arquitectura del servicio MIIS:

[KO06b] y [KO06a] introducen los denominados mapas de servicios, que permiten a un usuario móvil obtener una visión detallada de las redes disponibles y de los servicios que ofrecen en función del contexto del usuario (posición geográfica, rutas de movilidad, etc.) y de los requisitos de las aplicaciones. No utilizan el servidor MIIS del estándar, proponiendo una arquitectura general de servidores de información de movilidad con sus elementos de información. La experimentación realizada utilizando datos reales de puntos de acceso de una determinada zona de la ciudad de Berlín demuestra que el usuario hace mejores transiciones utilizando los mapas de servicio.

[GPH<sup>+</sup>07] y [PAG<sup>+</sup>07] mejoran la gestión de la movilidad gracias a las denominadas *Redes de Ambiente* (del inglés, *Ambient Networks*), una infraestructura que tiene el objetivo de recolectar y almacenar información de las redes vecinas a través de diferentes dominios. Ambos contemplan la creación de una entidad denominada DNISI (*Dynamic Networks Information Service Infrastructure*), que tiene por objeto recopilar y correlacionar la información de diversas capas de la pila de protocolos y a través de diferentes dominios. Asimismo, demuestran, mediante diversos experimentos, que el concepto de *Redes de Ambiente* puede tener cabida perfectamente en las redes de nueva generación.

[YYJP08] especifica un mecanismo de gestión de movilidad que utiliza el servidor MIIS para recopilar información de las capas de enlace y de aplicación de las redes vecinas ofreciendo así información relevante al usuario. La solución propuesta soporta transiciones dentro del mismo operador así como entre diferentes operadores. La principal aportación de este trabajo es que el usuario y el punto de acceso colaboran para que el servidor MIIS tenga información dinámica de las redes (información del enlace, características de calidad de servicio, historial del usuario y condiciones de la red).

[KPKP11] presenta un mecanismo donde los usuarios envían periódicamente información dinámica de los enlaces al servidor de información MIIS. Por tanto, siempre que un usuario se mueve envía al servidor información detallada del estado del enlace de cada uno de los puntos de acceso al que está conectado. Almacenando la calidad de la señal en diferentes puntos se puede calcular de manera estadística la calidad en otro punto. Los usuarios utilizan esta información para tomar la mejor decisión a la hora de hacer una transición.

[VIE11] propone una arquitectura distribuida de servidores MIIS donde los usuarios móviles administran la información almacenada en el servidor MIIS. La arquitectura responde a una estructura jerárquica de tablas DHT (*Distributed Hash Table*) con múltiples niveles o capas donde cada usuario mantiene su propio servidor MIIS y todos los nodos están interconectados. La estructura DHT permite reducir la latencia de señalización en el descubrimiento de redes vecinas. Como DHT es completamente distribuido, la estructura jerárquica introduce escalabilidad y tolerancia a fallos, siendo una interesante alternativa para una implementación de un servidor MIIS centrada en el usuario.

Finalmente, [NSS<sup>+</sup>11] considera un servidor de información que contempla el almacenamiento de información dinámica (recursos disponibles en tiempo real) de las redes de acceso. La principal aportación de este trabajo es que los puntos de acceso envían la información dinámica de forma periódica. Así, cuando el usuario obtiene información del servidor MIIS, ésta está actualizada no siendo necesario realizar una comprobación de recursos en todas las redes, ahorrando tiempo y energía en las transiciones en escenarios heterogéneos.

### 1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la especificación de un sistema de información de movilidad para redes móviles heterogéneas que sea neutral, flexible, redundante, robusto y escalable. Este objetivo se puede desglosar, a su vez, en los siguientes:

- Especificación de un sistema de información de movilidad que facilite el descubrimiento de redes y servicios en la vecindad.
- Especificación de una arquitectura de servidores de información MIIS.
- Especificación del funcionamiento de cada servidor de información incluyendo los elementos de información, estructura de almacenamiento e información disponible a los usuarios móviles.
- Especificación de un protocolo de comunicación entre los distintos tipos de servidores MIIS.
- Especificación de un mecanismo de acuerdo de nivel de servicio que permita a los operadores compartir información relevante de movilidad.
- Especificación de un mecanismo de caché para los servidores MIIS.

### 1.4 Estructura de la Memoria

Esta tesis se divide en tres Partes, la primera de las cuales presenta el resumen de la investigación en español siguiendo el siguiente esquema:

El capítulo 2 presenta las características de las redes inalámbricas más difundidas actualmente (las redes Wi-Fi, las redes Wi-Max y las redes celulares 3G) así como los principales conceptos de movilidad.

El capítulo 3 presenta el estándar IEEE 802.21, sus elementos, entidades y mensajes así como un detallado análisis de la fase de preparación de la transición (el descubrimiento de redes de acceso).

El capítulo 4 presenta la principal contribución de este trabajo que es el diseño y especificación de un sistema de información de movilidad que permite el descubrimiento



de redes, servicios y recursos, mediante la utilización de un sistema jerárquico de servidores de información MIIS.

En el capítulo 5 se especifica un mecanismo de caché para el sistema de información de movilidad. Con este mecanismo el usuario obtiene la información deseada de las entidades más cercanas, obteniendo una mejor experiencia de movilidad y un menor retardo en el proceso de descubrimiento de redes vecinas.

El capítulo 6 muestra la experimentación realizada. Las simulaciones fueron llevadas a cabo con la herramienta *Network Simulator* (NS-2). Los resultados demuestran que el sistema de información de movilidad propuesto mejora significativamente la experiencia móvil del usuario reduciendo el tiempo de descubrimiento de redes vecinas y mejorando considerablemente la calidad de las transiciones.

Finalmente, el capítulo 7 presenta las conclusiones obtenidas así como las orientaciones futuras que podrá tomar este trabajo.

La Parte II muestra las publicaciones que derivan de la realización de esta tesis doctoral.

La Parte III contiene un resumen en inglés de la investigación realizada.

## Capítulo 2

# Tecnologías Inalámbricas

En este capítulo se hace un repaso de las principales tecnologías de redes inalámbricas. En primer lugar se presentan las redes inalámbricas más difundidas actualmente: las redes Wi-Fi, las redes Wi-Max y las redes celulares 3G. Se revisan aspectos de la capa de enlace, alcance, calidad de servicio y mecanismos de descubrimiento de redes y servicios. Asimismo, se hace una breve descripción de las denominadas redes de nueva generación. Posteriormente, se presentan los nuevos terminales móviles capaces de soportar múltiples tecnologías. A continuación, se hace un repaso de los aspectos de movilidad en este tipo de redes. El capítulo finaliza con una breve síntesis de lo expuesto en el mismo.

El objetivo general es ofrecer los principales conceptos de redes inalámbricas y de movilidad y facilitar la comprensión de lo que son las redes de nueva generación.

### 2.1 Introducción

Con el creciente aumento de popularidad de las redes inalámbricas (Wi-Fi, Wi-Max y redes celulares 3G), se crea un nuevo paradigma en el mundo de las redes de comunicaciones para los usuarios que antes sólo estaban acostumbrados a las redes de telefonía fija. Ahora, los usuarios son móviles y necesitan cada vez más tecnologías que permitan la conectividad en cualquier lugar. Consecuentemente, las redes inalámbricas, sean locales, metropolitanas o globales, tienen cada vez más importancia en el mundo actual.

Sin embargo, estas tecnologías inalámbricas tienen bastantes limitaciones: presentan poco alcance, baja velocidad de transmisión de datos, algunas fueron diseñadas para transmisión de voz y no de datos, otras no tienen en cuenta aspectos de calidad de servicio, seguridad, etc. Asimismo, se observa claramente que sólo una tecnología no es capaz de ofrecer todo lo que el usuario móvil y sus aplicaciones necesitan. Es preciso por tanto una combinación de varias tecnologías para aprovechar lo mejor de cada una, dando nacimiento a nuevos dispositivos móviles que tienen que soportar múltiples tecnologías y que poseen la habilidad de elegir de forma automática la mejor red dependiendo del contexto y de las preferencias del usuario.

### 2.2 Redes Wi-Fi - IEEE 802.11

Las redes locales inalámbricas (WLAN, del inglés *Wireless Local Area Networks*) son más conocidas comercialmente como redes Wi-Fi y son especificadas por el IEEE bajo el grupo conocido como 802.11 [IEEE99]. Las redes Wi-Fi se basan en una arquitectura donde el sistema se divide en celdas o Conjunto de Servicios Básicos (BSS, del inglés *Basic Service Set*). Cada BSS se controla a través de un punto central o punto de acceso (AP, del inglés

*Access Point*). Por tanto, una BSS no es más que un área donde los usuarios móviles pueden comunicarse a través de este punto central que coordina el tráfico de la red. La Figura 2.1 ilustra una red inalámbrica Wi-Fi compuesta de 2 celdas.

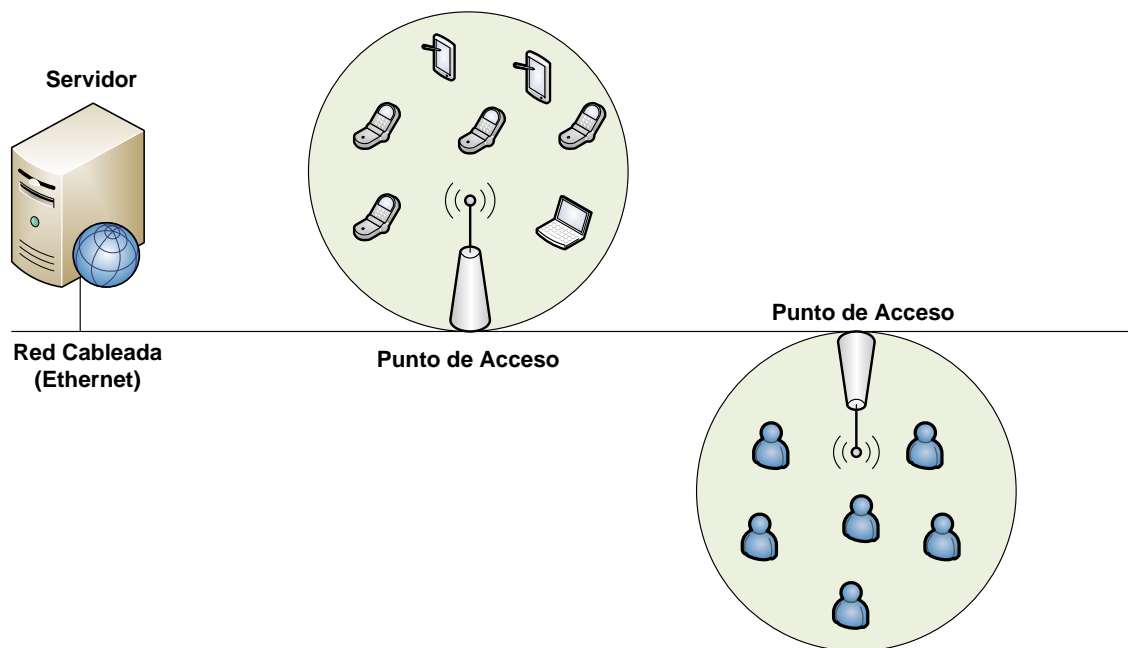


Figura 2.1: Ejemplo de una red Wi-Fi

Para comunicarse en una red Wi-Fi el usuario móvil necesita asociarse y autenticarse al punto de acceso. Estas dos fases son imprescindibles para la comunicación en las redes locales inalámbricas con punto de acceso. Cabe mencionar también que existen redes donde no existe punto de acceso siendo la comunicación entre los usuarios de forma directa (no existe un punto central). Estas redes se denominan redes móviles ad hoc (MANET, del inglés *Mobile Ad Hoc Networks*).

Aunque hay redes Wi-Fi comerciales y públicas con un único punto de acceso, lo más usual es que existan varios puntos de acceso interconectados a través de un *backbone* común, conocido como Sistema de Distribución (DS, del inglés *Distributed System*) que puede ser una red cableada como *Ethernet* u otra red inalámbrica. El sistema distribuido es de vital importancia ya que ofrece todo el soporte de los servicios lógicos de la red como la distribución de las configuraciones IP, la centralización de los mecanismos de seguridad, etc., permitiendo que múltiples BSS funcionen de forma integrada.

Todos los componentes de una red Wi-Fi, incluyendo las diferentes celdas, los usuarios móviles, los puntos de acceso y el sistema de distribución constituyen lo que se denomina Conjunto de Servicios Extendidos (ESS, del inglés *Extended Service Set*).

### 2.2.1 Descubrimiento de Redes Wi-Fi

En las redes locales inalámbricas Wi-Fi para que un usuario se comuniquen con un punto de acceso primero necesita descubrir dónde está y cuáles son los servicios que ofrece. De acuerdo con el estándar esto puede hacerse de forma pasiva o activa.

En la exploración pasiva el nodo escucha los mensajes que los puntos de acceso envían. Estos mensajes, que se envían de forma periódica, son conocidos como tramas de aviso

(*beacon*) y contienen la configuración del punto de acceso. En la Figura 2.2 se puede ver como el punto de acceso difunde su información a los usuarios que están dentro de su alcance.

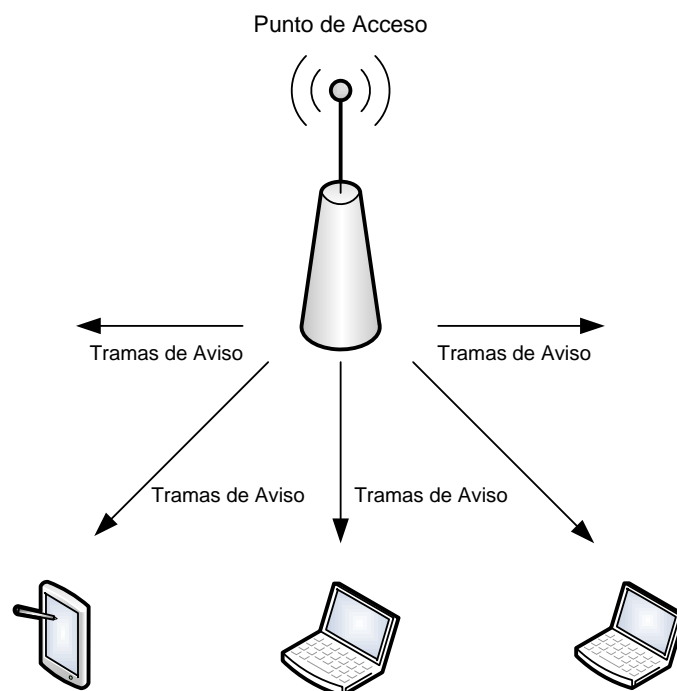


Figura 2.2: Exploración pasiva en redes Wi-Fi

Las tramas de aviso son las tramas más importantes de las redes Wi-Fi. Todos los puntos de acceso las difunden de forma periódica, normalmente a una frecuencia de diez veces por segundo, si bien este parámetro puede ser modificado en la configuración del punto de acceso. Cada trama enviada contiene la información necesaria para que un nodo móvil tenga configuración del punto de acceso antes de autenticarse y asociarse a la red Wi-Fi. La Tabla 2.1 resume los campos que constituyen una trama de aviso.

El cliente puede tener configurado en su software uno o varios nombres de redes (SSID, del inglés *Service Set Identifier*) predeterminados. Cuando un nodo cliente recibe una trama de aviso con un SSID configurado, automáticamente se conecta al punto de acceso que difundió la información. Puede ocurrir que el nodo cliente reciba dos tramas de aviso con el mismo SSID de diferentes puntos de acceso. En este caso, el nodo elige el punto de acceso que tenga mejor señal.

Por otro lado, la exploración activa se realiza a través de mensajes que el usuario envía a los puntos de accesos de su entorno solicitando su configuración y los servicios disponibles. Estas tramas se denominan petición de sondeo (*Probe Request*) y contienen el SSID que el nodo está buscando. En el caso de que el nodo cliente quiera conectarse a cualquier red, envía una petición de sondeo con el SSID vacío. Si se especifica un SSID al enviar el mensaje y un punto de acceso lo recibe, éste contesta con un mensaje respuesta al sondeo (*Probe Response*), que contiene la misma información que la trama de aviso.

Conviene reseñar que aunque el usuario esté autenticado y asociado a un punto de acceso, sigue enviando de forma periódica el mensaje de petición de sondeo en todo el

Tabla 2.1: Tramas de aviso

Campo	Descripción
Sello de tiempo	Sirve para que los usuarios móviles estén sincronizados con el punto de acceso ya que todas las comunicaciones en redes Wi-Fi referencian al reloj del sistema.
Información del canal	Contiene el canal que está siendo utilizado por el punto de acceso. La institución responsable de estas especificaciones en Europa es la ETSI ( <i>European Telecommunications Standard Institute</i> ), designando 13 canales para el uso de redes locales inalámbricas.
Velocidad de transmisión	Este campo especifica las velocidades de transmisión soportadas por el punto de acceso. En redes IEEE 802.11b/g las velocidades de transmisión son 1, 2, 5.5, 11, 22 y 54 Mbps. Las redes IEEE 802.11n permiten velocidades de 300 Mbps.
Conjunto de servicios soportados	Especifica el tipo de red (si es una BSS, una ESS o una red ad hoc). Como las redes ad hoc no poseen punto de acceso, todos los nodos envían la trama de aviso. Los nodos sólo envían tramas de aviso cuando están configurados en modo ad hoc.
SSID	Es el nombre de la red Wi-Fi. Corresponde a <i>Service Set Identifier</i> en inglés.
Mapa de indicación del tráfico	Este campo se utiliza cuando el punto de acceso o los nodos entran en modo de ahorro de energía.
Información del fabricante	Contiene información propietaria de los fabricantes de dispositivos inalámbricos. Normalmente, se puede verificar con esta información el nombre del fabricante y el modelo del punto de acceso.

rango de frecuencias. Esta continua exploración permite al usuario cliente mantener una lista con la información de los puntos de acceso vecinos. Si el usuario necesita moverse y hacer una transición entre dos puntos de acceso, comprueba en la lista cuál es el mejor punto de acceso para autenticarse y asociarse rápidamente. La Figura 2.3 muestra el funcionamiento de la exploración activa en redes Wi-Fi.

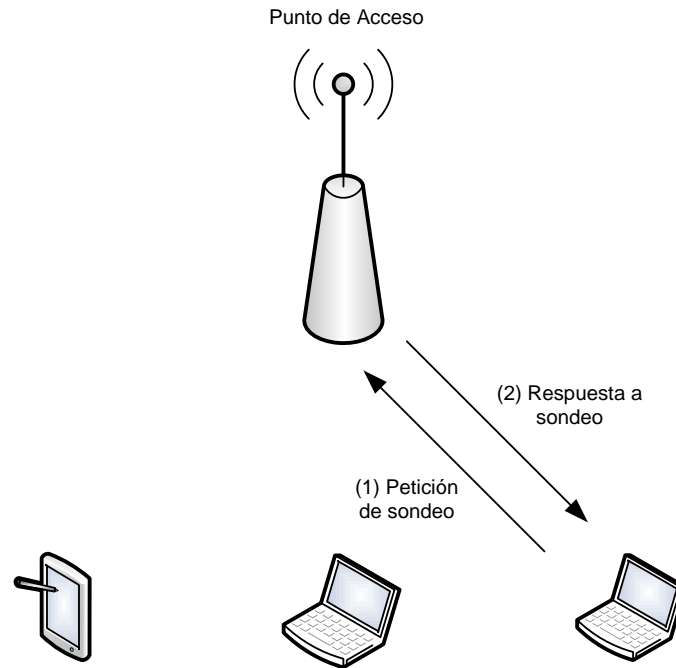


Figura 2.3: Exploración activa en redes Wi-Fi

## 2.3 Redes Wi-Max - IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16 [IEE05] es la solución a las denominadas redes locales metropolitanas (MAN, del inglés *Metropolitan Area Networks*), ofreciendo gran cobertura y alta velocidad de transmisión de datos, del orden de centenas de Mbps. El objetivo de este tipo de redes es permitir a los operadores de telecomunicaciones llegar a clientes en áreas donde las soluciones cableadas y/o Wi-Fi no pueden, o en las que llegar tiene un alto coste. Según el estándar, la tecnología permite transmisión de información entre puntos hasta 15 Km sin visión directa y hasta 50 Km cuando el transmisor y el receptor tienen visibilidad. La Figura 2.4 ilustra una red inalámbrica Wi-Max.

El funcionamiento de las redes Wi-Max es bastante similar a las redes Wi-Fi. Las redes Wi-Max están orientadas a conexión, es decir, sólo hay comunicación una vez que se haya establecido la conexión. La arquitectura de la tecnología Wi-Max está constituida por 2 componentes principales: la estación base (BS, del inglés *Base Station*) y los clientes receptores. La estación base está conectada al núcleo de la red y ofrece conectividad a los nodos suscriptores (SS, del inglés *Subscriber Stations*). En las redes Wi-Max la comunicación ocurre entre el nodo BS y SS, siendo de bajada de la estación base al nodo

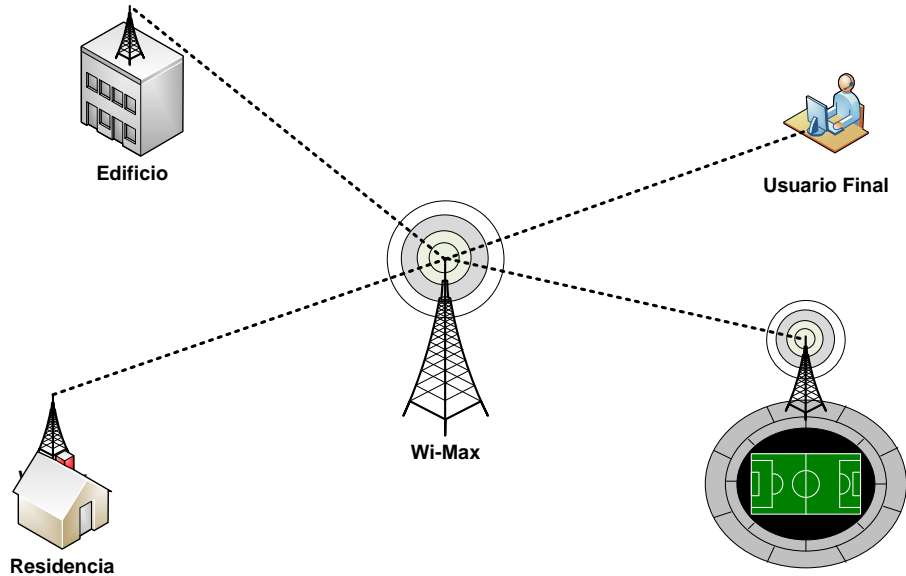


Figura 2.4: Ejemplo de una red Wi-Max

suscriptor y de subida del nodo a la estación base.

Además del modo punto - multipunto, la tecnología Wi-Max soporta la conexión conocida como red malla (*Mesh Network*), donde los nodos suscriptores se comunican entre sí. Su modo de funcionamiento es similar al de las redes ad hoc del estándar IEEE 802.11, en el que no existe un punto central de gestión y coordinación de las funciones, tareas éstas realizadas por todos los nodos de la red.

Al igual que en las redes Wi-Fi, en las redes Wi-Max existen las fases de inicialización y asociación de un nodo a la red. En la Tabla 2.2 se pueden ver los principales pasos que un nodo debe seguir antes de participar en una comunicación Wi-Max.

### 2.3.1 Descubrimiento de Redes Wi-Max

El descubrimiento de redes y servicios en redes Wi-Max es similar al empleado en las redes Wi-Fi. Una estación cliente Wi-Max detecta la presencia de puntos de acceso a través de la escucha de mensajes DL-MAP (*Downlink Map*). Este mensaje contiene información como *Base Station ID* (que identifica unívocamente al punto de acceso Wi-Max) y *Operator ID* (que identifica unívocamente al operador que controla los puntos de acceso de la red).

Al igual que en las redes Wi-Fi, el cliente Wi-Max puede recibir mensajes de aviso de más de un punto de acceso, eligiendo la red que más se adecúe a la configuración, políticas y perfil del usuario. Tras elegir el punto de acceso el cliente realiza el registro en la red Wi-Max y, a partir de este momento, el nodo se gestiona por la estación base de la red.

## 2.4 Redes de Telefonía

El acrónimo 3G [3GP06] significa tercera generación tecnológica de telefonía móvil. Al igual que en GPRS (*General Packet Radio Service*), los sistemas telefónicos 3G pueden transmitir tanto voz como datos. Sin embargo, a diferencia del GPRS, los sistemas

Tabla 2.2: Inicialización de un nodo en una red Wi-Max

Operación	Descripción
Exploración	Los nodos SS buscan a los nodos BS para establecer una sincronización y una posterior asociación. En esta fase no hay configuración manual por parte del usuario.
Obtención de los parámetros	Tras hacer la búsqueda de los nodos BS, el nodo SS establece la sincronización y obtiene los parámetros de <i>uplink</i> y <i>downlink</i> .
Negociación	Los nodos SS y BS intercambian mensajes para conocerse mutuamente.
Registro	El nodo SS realiza el registro en la red Wi-Max. A partir de este momento el nodo se gestiona en la estación base de la red.
Establecimiento de conectividad IP	El nodo obtiene su configuración de red (IP, puerta de enlace, etc.) utilizando el protocolo DHCP ( <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> ).
Establecimiento del tiempo del día	Los nodos SS y BS comparten la información denominada tiempo del día, que sirve para la configuración de eventos y acciones basados en el reloj de cada uno de los nodos.
Establecimiento de la conexión	Tras la realización de los pasos anteriores, el nodo BS asigna un canal al nodo SS, permitiéndole comunicarse con el resto de los nodos de la red.



3G pueden transferir datos a alta velocidad (hasta 7,2 Mbps e incluso más), haciendo posible el envío y la recepción de vídeos, la navegación por Internet a alta velocidad, videollamadas, etc. La tecnología 3G está especificada dentro del IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) de la ITU (*International Telecommunication Union*), considerado como la normativa que determina las características que deben cumplirse para conseguir el objetivo de la interoperabilidad global, es decir, que un terminal de usuario 3G pueda comunicarse en cualquier red 3G del mundo independientemente del operador que lo gestione.

Los servicios que ofrece la tecnología 3G son, básicamente, los siguientes: acceso a Internet, servicios de banda ancha, *roaming* internacional e interoperabilidad. Estos sistemas permiten el desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de vídeo e imágenes en tiempo real, fomentando la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como videoconferencia o comercio electrónico. Precisamente, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) constituye uno de los miembros de esta familia de estándares IMT-2000.

En la implantación de los sistemas 3G desempeña un papel importante el foro UMTS. El foro es un organismo independiente creado en diciembre de 1996 en el que participan casi 170 compañías de 30 países pertenecientes a las industrias fabricantes de equipos, operadores de telecomunicaciones y organismos de regulación. El foro persigue el consenso necesario para introducir y desarrollar con éxito el estándar UMTS y así poder satisfacer la demanda del mercado de unas comunicaciones móviles personales de bajo coste y alta calidad.

El foro UMTS también actúa como catalizador de propuestas de las organizaciones especializadas sobre estandarización y espectro, entre otros aspectos, y se relaciona con organizaciones de carácter regional y mundial, organismos de estandarización y otras comunidades reconocidas tanto de la industria como de los operadores.

Actualmente, del estándar 3G basado en la evolución de las redes GSM se ocupa 3GPP [3GP06], creado en diciembre de 1998 y formado por grupos de estandarización de todo el mundo. En concreto, participan ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) en Europa, TTC (*Telecommunications Technology Committee*) y ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) en Japón, TTA (*Telecommunications Technology Association*) en Corea, T1 (*T-carrier*) en Estados Unidos y CWTS (*China Wireless Telecommunication Standard*) en China, junto a diversos fabricantes y operadores. La finalidad del 3GPP consiste en establecer especificaciones abiertas universales para garantizar, entre otras cosas, la interoperabilidad mundial mediante la cooperación entre los diferentes organismos de normalización.

A continuación se enumeran las principales características de un sistema de tercera generación:

- Alta velocidad en transmisión de datos: soporta hasta 144 Kbps en velocidad de datos móviles (vehicular), hasta 384 Kbps en velocidad de datos portátiles (peatonal) y hasta 7,2 Mbps en velocidad de datos fijos (estático).
- Transmisión simétrica y asimétrica de datos.
- Servicios de conmutación de paquetes (tráfico Internet) y de conmutación de circuitos (vídeo en tiempo real).
- Calidad de voz comparable a la calidad ofrecida por los sistemas cableados.
- Mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro respecto a los sistemas actuales.

- Capacidad de proporcionar servicios simultáneos a usuarios finales y terminales.
- Incorporación de sistemas de segunda generación y posibilidad de coexistencia e interconexión con servicios móviles por satélite.
- Interoperabilidad internacional entre diferentes operadores (*roaming* internacional).
- Servicios unificados de mensajes como correo electrónico multimedia.
- Aplicaciones de comercio electrónico móvil.
- Aplicaciones audio/vídeo en tiempo real.

La tecnología 3G ha revolucionado el modo de comunicación móvil actual. Sin embargo, la tecnología presenta algunas debilidades, entre ellas la limitada cobertura y el uso de un protocolo de transporte no orientado a conexión, que hace que los paquetes puedan seguir rutas distintas entre origen y destino, pudiendo llegar desordenados o duplicados.

#### 2.4.1 Descubrimiento de Redes de Telefonía

El descubrimiento en redes 3G también es similar al comentado en las redes Wi-Fi y Wi-Max. La estación base envía un mensaje en difusión (*broadcast*) con información general a todos los terminales móviles de la red a través de un canal diseñado para tal función, denominado canal BCCH (*Broadcast Control Channel*). El BCCH es un canal punto multipunto que se usa para enviar información de identificación de celda y de red, frecuencia de espera en uso, información de celdas circundantes e identidad de la celda, así como características operativas de la celda (estructura actual de canales de control, disponibilidad de canales y congestión). En el mensaje se envía también una lista de los canales que están en uso en la celda. Tras recibir la información a través de este canal, el usuario móvil realiza la sincronización con la estación base y empieza el registro y autenticación, lo que le permitirá el uso de la red de telefonía celular.

## 2.5 Redes Móviles de Nueva Generación (4G)

La tendencia actual a integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red IP [Pos81a], conocida como modelo Todo IP (*All-IP*), ha puesto de manifiesto las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en aspectos como la capacidad, la calidad de servicio, la seguridad y la fiabilidad, entre otros. Para solucionar estos problemas han aparecido numerosos equipos, técnicas, tecnologías y protocolos, que, combinados de manera adecuada, permiten la realización de modelos de red que proporcionan, tanto al cliente corporativo como al residencial, todo tipo de servicios multimedia. Se conocen como Redes de Nueva Generación (NGN, del inglés *Next Generation Networks*) o Redes de Cuarta Generación (4G).

Actualmente, no hay una definición formal de las redes 4G. Cabe decir únicamente que las redes 4G están basadas totalmente en el protocolo IP y se componen de varios sistemas con velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo y con una calidad de servicio extremo a extremo que permite ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento y en cualquier lugar al mínimo coste.

El WWRF (*Wireless World Research Forum*) define 4G como una red que funciona en la tecnología de Internet, que se combina con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y Wi-Max. Las redes 4G todavía no son una tecnología ni poseen un estándar definido,

son más bien una colección de tecnologías y protocolos que permiten obtener el máximo rendimiento de procesamiento de la red inalámbrica.

El concepto de 4G incluye diversas técnicas avanzadas de radio como MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) y OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, son LTE (*Long Term Evolution*) [LTE08] para el acceso radio y SAE (*Service Architecture Evolution*) para el núcleo de la red. Seguidamente se describen las principales características de las redes 4G:

- Las redes 4G se implementan de forma que todas las funcionalidades ejecutadas por la red son separadas en distintos niveles funcionales. Estos niveles son: acceso, transporte, control e inteligencia y servicio. Cada capa de red es totalmente independiente de las otras en términos de modificaciones y en la capacidad de actualizarse. Al utilizar este tipo de arquitectura las redes son más flexibles y escalables, lo que reduce el tiempo para el desarrollo e implementación de nuevos servicios y funcionalidades.
- Los niveles funcionales se separan mediante interfaces abiertas que permiten la interconexión con redes de otros operadores. Esto facilita la integración de servicios y aplicaciones de otras redes, asumiéndose que los operadores de telecomunicaciones tienen un previo acuerdo comercial para la explotación de los mismos. La interconexión entre varios operadores extiende el rango de cobertura al usuario, a la vez que permite el despliegue de nuevos servicios.
- Las redes 4G proporcionan múltiples servicios, en contraposición a las redes tradicionales que fueron diseñadas para un uso específico. Estas redes permiten a los operadores la implementación y desarrollo de servicios comunes y convergentes. Para el usuario la convergencia de redes y servicios permite el nacimiento del concepto de transición sin interrupciones entre las redes de diferentes operadores, donde los usuarios pueden acceder a sus servicios locales desde cualquier red externa.

El ITU indicó en 2010 que las denominadas tecnologías 3G evolucionadas, como *Mobile Wi-Max* y *LTE-Advanced*, podrían considerarse tecnologías 4G. En Japón ya se está experimentando con diversas tecnologías de cuarta generación, estando la empresa NTT Docomo a la vanguardia de ellas.

### 2.5.1 Arquitectura General

Como se ha comentado anteriormente, las redes 4G se implementan de una manera que todas las funcionalidades ejecutadas por la red son separadas en distintos niveles funcionales: acceso, transporte, control e inteligencia y servicio. Seguidamente se describen cada uno de estos niveles funcionales:

- **Acceso:** el nivel de acceso ofrece una infraestructura de comunicación entre la red de acceso y la red de transporte. El nivel de acceso puede ser una red cableada o inalámbrica y puede utilizar distintas tecnologías de comunicación como fibra óptica, cable coaxial, radio, etc. Un nodo móvil tiene acceso a la información de la red a través de la red de acceso. Por ejemplo, en una red inalámbrica el punto de acceso se denomina red de acceso, ya que permite al usuario inalámbrico acceder a los servicios de la red local, a Internet, etc.
- **Transporte:** el nivel de transporte ofrece un medio de comunicación entre los nodos móviles que están conectados a la red de acceso. Este nivel consiste en una o varias

redes basadas en la conmutación de paquetes o de circuitos y permite la manipulación de diferentes tipos de tráfico como: voz, *streaming* de vídeo, datos en tiempo real, etc.

- **Control e Inteligencia:** En este nivel se encuentran los elementos de control de la red que supervisan todos los demás niveles especificados en la arquitectura de redes 4G. Este nivel es responsable del control de las sesiones de comunicación, establecimiento y desconexión de llamadas de voz o sesiones multimedia. El objetivo principal de este nivel es separar el control lógico de la red de las funciones de conmutación de las capas inferiores de la red.
- **Servicio:** el nivel de servicio ofrece un conjunto de elementos básicos de servicio que permiten a los operadores de telecomunicaciones desarrollar sus propios servicios. Estos elementos básicos están relacionados con el transporte, con el tráfico de información y con servicios como la autenticación y la facturación.

### 2.5.2 Características

Una red heterogénea 4G se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Soportan múltiples tecnologías, permitiendo total integración entre ellas lo que redundo en que el usuario disfrute de un ambiente totalmente transparente y heterogéneo.
- Soportan múltiples esquemas de comunicación y movilidad con el objetivo de mantener la conectividad del usuario, independientemente de la aplicación que se esté utilizando.
- Existencia de una entidad central de administración y control de la red que es responsable del mantenimiento de la comunicación y de la integridad de la información.
- Actualización permanente de la información de la red. Al hacer cualquier transición entre redes el usuario móvil consulta esta información que debe estar actualizada.
- Existencia de niveles jerárquicos de funcionalidad, separando las tareas de acceso entre los dispositivos móviles y la red de las tareas de administración y mantenimiento de la misma.

Estos requisitos han motivado el desarrollo del estándar IEEE 802.21 que ofrece una capa de inteligencia que permite la transición entre redes heterogéneas.

De forma resumida la Tabla 2.3 hace una comparación de las principales características y servicios de las redes inalámbricas Wi-Fi, Wi-Max, 3G y 4G.

## 2.6 Dispositivos Móviles en Redes 4G

Los dispositivos móviles de las redes 4G se caracterizan por los siguientes aspectos:

- Soportan múltiples interfaces de red, permitiendo la comunicación mediante diferentes tecnologías con distintas características lógicas y físicas.
- El dispositivo móvil debe funcionar con la mínima intervención del usuario, es decir, el usuario no debe interferir en la selección de las redes cuando una nueva red esté disponible o cuando se pierda la conexión con una interfaz. Todo este procedimiento debe ser automático y transparente al usuario.

Tabla 2.3: Redes inalámbricas y sus características

	3G	Wi-Max	Wi-Fi	4G
Rango	Gran alcance	Óptimo: 5-7 km Aceptable: 50 km	200 m	Óptimo: 5 - 7 km Degradación: 30 km Aceptable: 100 km
Uso	Exterior	Exterior	Exterior	Interior
Ancho de banda	Hasta 7,2 Mbps	Hasta 1 Gbps	Hasta 600 Mbps	Hasta 1 Gbps
Servicios	Voz, datos IP	Datos, Voz sobre IP, vídeo, aplicaciones con gran ancho de banda	Limitado para Voz sobre IP, datos IP	Datos, Voz sobre IP, vídeo, aplicaciones con gran ancho de banda
Calidad de servicio	Sí	Sí	Sí, pero con limitaciones	Sí

- Las interfaces de redes deben ser lo suficientemente inteligentes para buscar redes alternativas al usuario móvil. Esta búsqueda se puede realizar de forma periódica o cuando la conexión actual del usuario esté degradándose de forma importante.
- La elección de la interfaz debe basarse principalmente en las preferencias del usuario, las necesidades de la aplicación y la información de las redes que estén disponibles.
- El balanceo del tráfico entre las distintas interfaces de red debe ser también transparente al usuario. Por ejemplo, si un usuario está haciendo una llamada VoIP a través de una red Wi-Fi y el dispositivo móvil detecta una red Wi-Max que posee más ancho de banda, el dispositivo móvil debería soportar la transición entre ambas redes y mantener la conversación VoIP sin que haya pérdida de calidad o interrupción del servicio.

La disponibilidad de conexión debe ser detectada por el dispositivo móvil. En algunas tecnologías los recursos necesarios para mantener una interfaz activa, aunque no esté en uso, son relativamente pequeños y la interfaz puede estar permanentemente activa haciendo la exploración de nuevas redes. En las redes Wi-Fi esta característica es impracticable debido a la cantidad de energía necesaria para mantener activa la interfaz haciendo una continua búsqueda de puntos de acceso. Actualmente, el usuario activa la interfaz de forma manual cuando sabe que hay una red Wi-Fi disponible. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, uno de los requisitos de los dispositivos móviles en las redes 4G es minimizar la interacción del usuario, dejando que el dispositivo sea suficientemente inteligente para activar la interfaz de forma automática.

Una posible solución a este problema es permitir que la interfaz activa detecte la presencia de redes de otras tecnologías. Por ejemplo, una interfaz GSM podría indicar que hay un punto de acceso Wi-Fi disponible y activar la interfaz de forma automática, sin intervención manual del usuario.

A pesar de que la propuesta anterior soluciona el problema de identificar redes de otras tecnologías, otro aspecto a tener en cuenta es cómo un operador puede ofrecer un servicio y permitir la transición entre distintas redes que no son gestionadas por él. Desde el punto de vista del operador presentar una solución simple al usuario tiene numerosos inconvenientes ya que tiene que gestionar distintas tecnologías en la capa de enlace. Desde

el punto de vista del dispositivo móvil hacer la configuración con las preferencias del usuario es relativamente sencillo, y encontrar la información de las redes que soporten estas preferencias del usuario conlleva sólo algunos mecanismos adicionales.

Todo lo expuesto conduce a la utilización del estándar IEEE 802.21 en la tarea de descubrimiento de redes y gestión de movilidad entre redes heterogéneas.

Por último, conviene señalar que en este trabajo se denomina **usuario** a los dispositivos móviles con múltiples interfaces de redes, independientemente de las tecnologías utilizadas y del número de interfaces que tengan instaladas.

## 2.7 Movilidad

Los usuarios demandan un acceso ininterrumpido a las redes IP según se mueven, de forma similar a como se consigue en las llamadas de voz en las redes 3G, por lo que los sistemas de nueva generación de comunicación deben proporcionar esta capacidad. Por otra parte, los usuarios también demandan el requisito de obtener conectividad de datos, no sólo mientras se mueven a través de la red de su operador, sino también cuando se encuentran en tránsito en las redes de otros operadores.

En telecomunicaciones el término movilidad está asociado a comunicación ininterrumpida de voz o de datos mientras el usuario cambia de punto de conexión. Es importante mencionar que el hecho de que el usuario utilice un dispositivo móvil y que se comunique con una red de forma inalámbrica no significa movilidad. Por tanto, inalámbrico no significa móvil. Un usuario puede moverse entre dos puntos de acceso y, si no hay soporte de movilidad, no podrá mantener su conectividad.

En comunicaciones inalámbricas, movilidad se refiere a la capacidad de un dispositivo de moverse de una zona de cobertura a otra sin interrupción del servicio. El concepto de movilidad funciona de forma totalmente diferente dependiendo de la tecnología de la red inalámbrica utilizada. En las redes Wi-Fi y Wi-Max el dispositivo cliente puede desplazarse y registrarse en diferentes puntos de acceso sin perder la conectividad y manteniendo la misma configuración de red, es decir, hay movilidad a nivel de capa de enlace (sin cambio de dirección IP). En cambio, las redes 3G tienen soporte nativo a la movilidad del usuario, ofreciéndole una experiencia mucho mejor que las redes Wi-Fi y Wi-Max.

### 2.7.1 Transición

Se denomina transición al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un usuario se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

En las redes de nueva generación el usuario móvil puede utilizar una gran cantidad de variables o parámetros (calidad de servicio, seguridad, coste de la conexión, condiciones de la red y del dispositivo móvil, posicionamiento geográfico, administración de la energía, ancho de banda, preferencias e historial del usuario, etc.) para tomar la mejor decisión a la hora de hacer una transición.

### 2.7.2 Clasificación

Según [JM04] y [NHH06], la transición puede clasificarse basándose en factores como el número de conexiones, la frecuencia, el tipo de red, el dominio administrativo involucrado o la necesidad de transición, entre otros. La Figura 2.5 ilustra la clasificación más común.

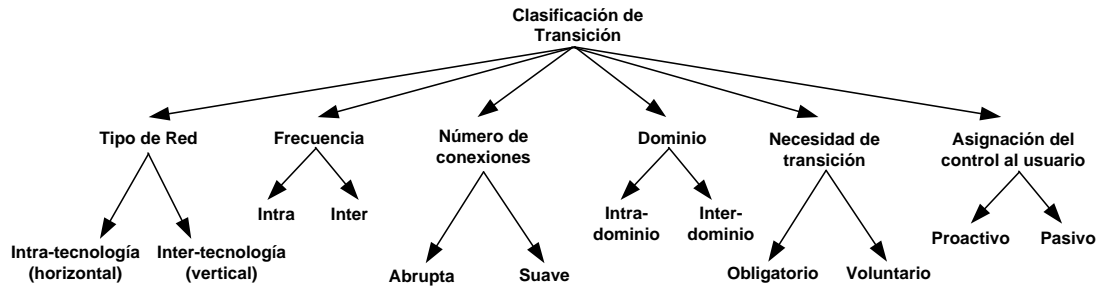


Figura 2.5: Clasificación de transición

### Tipo de Red

Este es el factor más común de clasificación. La transición puede clasificarse como intra-tecnología o inter-tecnología, dependiendo de si se realiza entre una misma tecnología de red o entre diferentes tecnologías de red.

- **Intra-tecnología (horizontal):** son transiciones realizadas a través de puntos de conexión de la misma tecnología tales como puntos de acceso Wi-Fi y estaciones base Wi-Max. Estas transiciones son manejadas por los correspondientes estándares tecnológicos de las correspondientes tecnologías de redes de acceso. Los estándares IEEE 802.11k [IEE08a] y IEEE 802.11r [IEE08b] especifican la movilidad en redes Wi-Fi, el estándar IEEE 802.16e en redes Wi-Max, y los estándares 3GPP y 3GPP2 en redes celulares. Estas transiciones también son denominadas transiciones horizontales u homogéneas.
- **Inter-tecnología (vertical):** incluyen el paso por diferentes redes tales como Wi-Fi, Wi-Max y redes celulares y se aplican a las plataformas de clientes con múltiples interfaces. Estas transiciones también se denominan transiciones verticales o heterogéneas. El estándar IEEE 802.21 especifica una arquitectura que facilita y optimiza la movilidad y la interoperabilidad entre redes heterogéneas, lo que mejora significativamente la experiencia móvil del usuario.

### Frecuencia

- **Intra-frecuencia:** es el proceso de transición de un usuario a través de puntos de acceso operando sobre la misma frecuencia.
- **Inter-frecuencia:** es el proceso de transición de un usuario a través de puntos de acceso operando sobre diferentes frecuencias.

### Número de Conexiones

- **Abrupta:** conocida como BBM (del inglés *Break Before Make*, romper antes de hacer) consiste en que el usuario se deshace de la conexión activa antes de hacer la transición a la otra red. Este tipo de transición implica una pérdida de datos ya que se cierran todas las conexiones activas.
- **Suave:** este tipo de transición se conoce como MBB (del inglés *Make Break Before*, hacer antes de romper). Esta transición es más aconsejable ya que no hay pérdida



de datos. Toda la comunicación, autenticación y negociación del usuario móvil con la otra red se hace a través de la conexión activa. Para que el usuario haga una transición suave, las redes de acceso deben tener áreas de cobertura solapadas. El estándar IEEE 802.21 se inspiró en este tipo de transición.

### Dominio Administrativo

Un dominio administrativo es un grupo de sistemas y redes que pertenece a una organización y es controlado por una autoridad administrativa. Los dominios administrativos juegan un importante rol en las redes de cuarta generación, ya que el usuario puede moverse por distintas redes de acceso y por diferentes autoridades administrativas. Así, el usuario tiene dos opciones de transición: intra-dominio o inter-dominio.

- **Intra-dominio:** este proceso de transición ocurre cuando un usuario móvil se desplaza entre redes diferentes manejadas por el mismo dominio administrativo. Al realizar un transición intra-dominio, el usuario puede moverse por tecnologías similares (intra-tecnología) o cambiar de tecnología (inter-tecnología).
- **Inter-dominio:** este proceso de transición ocurre cuando un usuario móvil se mueve entre redes diferentes (soportando la misma o distintos tipos de interfaces de red) manejadas por diversos dominios administrativos. Normalmente, este tipo de transición requiere mecanismos de autenticación y autorización por parte del usuario junto a una entidad central de control de usuarios. Actualmente, para que ocurra un transición entre dominios diferentes, se debe realizar un acuerdo de nivel de servicio (SLA, del inglés *Service Level Agreement*) entre las partes.

### Necesidad de Transición

- **Obligatorio:** en algunas situaciones es necesario que el terminal móvil transfiera la conexión a otro punto de acceso para evitar la pérdida de conexión.
- **Voluntario:** en otras situaciones la transferencia de conexión es opcional y puede o no mejorar la calidad de servicio.

### Asignación de Control al Usuario

- **Proactiva:** en una transición proactiva el usuario móvil tiene permitido decidir y configurar cuándo y cómo realizar la transición. La decisión de transición puede basarse en un conjunto de preferencias especificadas por el usuario. La transición proactiva es una de las principales características de los sistemas inalámbricos 4G, esto es, permite la interacción del usuario en el proceso de transición.
- **Pasiva:** el usuario no tiene control sobre el proceso de transición. Este tipo de transición es la más común en la actual generación de sistemas inalámbricos.

Este trabajo se centra principalmente en las transiciones según los tipos de tecnologías de red y los dominios administrativos (proveedores, operadores, etc.).

Combinando estas dos categorías de transición, el usuario puede hacer cuatro tipos diferentes de transición (véase Figura 2.6).

En una primera opción el usuario puede hacer un transición intra-tecnología / intra-dominio. Este tipo de transición ocurre cuando el usuario del operador A hace la transición entre dos redes Wi-Fi, es decir, entre puntos de acceso de la misma tecnología y pertenecientes al mismo dominio. Un segundo tipo de transición es la intra-tecnología /



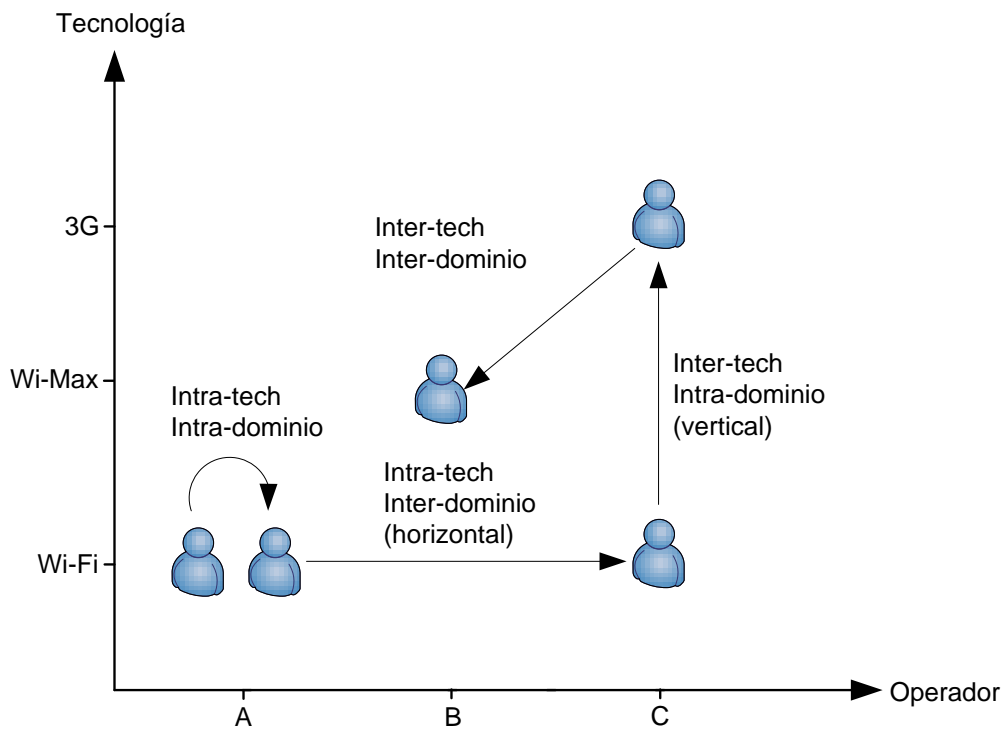


Figura 2.6: Tipos de transiciones

inter-dominio. El usuario hace una transición de una red Wi-Fi del operador A a una red Wi-Fi perteneciente al operador C. En la Figura 2.6 también se puede visualizar una transición inter-tecnología / intra-dominio. En este tercer tipo de transición, el usuario se desplaza de una red Wi-Fi a una red 3G del mismo operador (el C). Por último, el usuario tiene la posibilidad de hacer un transición inter-tecnología / inter-dominio. En esta clasificación el usuario realiza una transición del operador C al operador B y cambia su conexión de 3G a Wi-Max. Este tipo de transición es la más compleja, ya que conlleva un excesivo intercambio de mensajes entre el usuario y las entidades de las redes de los operadores. Para disminuir este hecho así como el retardo en el proceso de transición, el IEEE 802.21 proporciona mecanismos para mejorar las transiciones (Wi-Fi, Wi-Max y 3G) ya que permite que usuarios y entidades de red trabajen conjuntamente.

### 2.7.3 Fases de una Transición

Para efectuar una transición entre dos redes, el usuario tiene que realizar una serie de acciones o etapas. Según [NHH06] y [LSP08] el proceso de transición se divide en tres grandes fases (iniciación, preparación y ejecución) tal y como se ilustra en la Figura 2.7.

Todas las etapas influyen en el tiempo final de transición y en el retardo que percibe el usuario móvil. Según [LKSW09] y [YCG10] el retardo ocasionado por las tres fases son más que suficientes para afectar a la calidad de servicio de muchas aplicaciones, siendo la fase de preparación la que más tiempo demanda en todo el proceso de transición, debido a que se debe hacer un barrido en todas las frecuencias y en todas las interfaces de red del dispositivo móvil. A continuación se describen detalladamente las tres etapas.

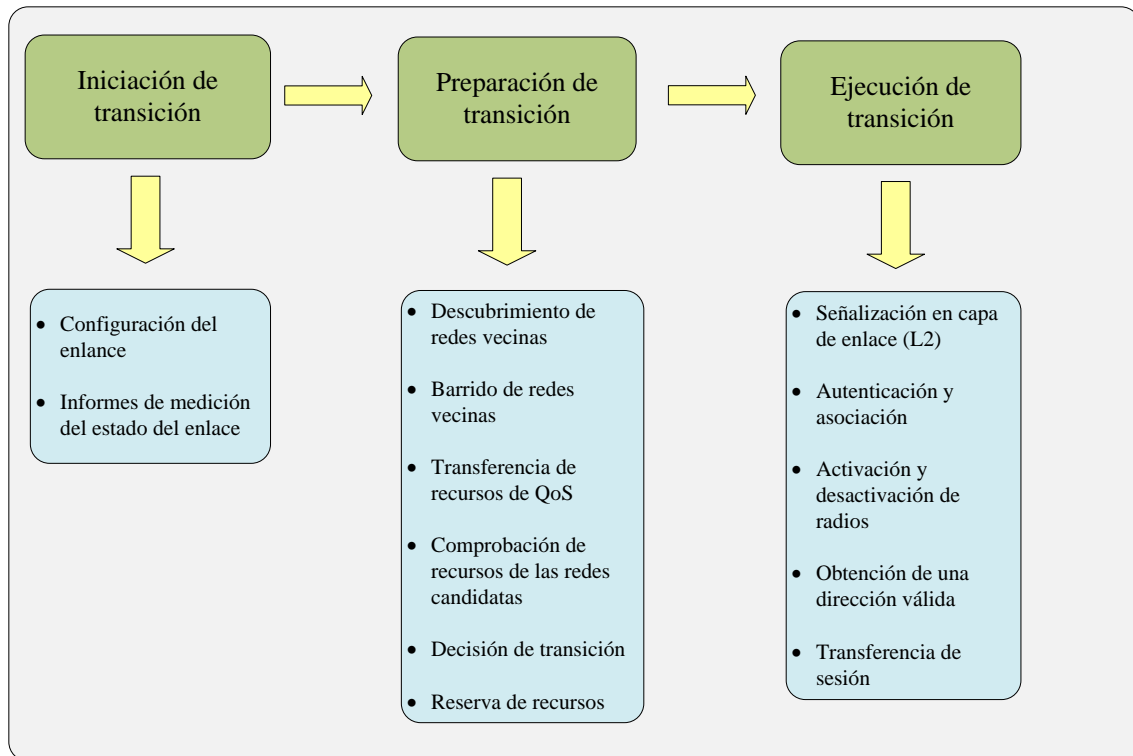


Figura 2.7: Fases de una transición

### Iniciación

La principal función de esta fase es identificar la necesidad de hacer una transición. Para ello el usuario configura umbrales de algunas propiedades del enlace y cuando alguno es sobrepasado se indica la necesidad de hacer una transición. Esta fase incluye, a su vez, las siguientes etapas:

- **Configuración de umbrales de calidad:** antes de iniciar la transición el usuario establece algunos umbrales de calidad de servicio.
- **Medición del estado del enlace (informe):** se configura la interfaz de red del dispositivo móvil para que informe periódicamente al usuario de las condiciones y características del enlace. Si alguno de los valores evaluados sobrepasa un determinado umbral se informa al usuario. El informe de las condiciones del enlace dirá al usuario si urge la necesidad de hacer una transición. El BER (*Bit Error Rate*) y la calidad del enlace son algunas de las métricas evaluadas.

### Preparación

La fase de preparación de transición empieza cuando el usuario detecta una necesidad real de hacer la transición, que puede ser, por ejemplo, la degradación de las condiciones del enlace. Lo importante ahora es hacer una búsqueda de las redes disponibles, verificar las características y condiciones de los enlaces y ejecutar un algoritmo de decisión para elegir la mejor red entre las candidatas. En la fase de preparación el usuario realiza una serie de acciones en las redes vecinas como averiguación de sus recursos (QoS, coste, ancho

de banda), verificación de los mecanismos de configuración de red soportados (DHCP), de los protocolos de movilidad y seguridad utilizados, etc. Una vez que el usuario tiene la información de las redes vecinas, elige la mejor red de acuerdo con sus preferencias y finaliza el proceso reservando los recursos necesarios. Esta segunda fase incluye las siguientes etapas:

- **Descubrimiento de redes:** al detectar que hay que hacer una transición, lo primero que hace el usuario es buscar redes candidatas para conectarse. Como se ha comentado anteriormente, el usuario puede descubrir redes haciendo un barrido activo o consultando algún servidor de información de redes. En este trabajo se utiliza el método de consultar un servidor de información ya que éste también ofrece al usuario móvil información del estado del enlace y de características como coste, seguridad, etc.
- **Barrido de redes:** cuando el usuario consulta un servidor de información y éste le responde diciéndole que existen redes en su zona geográfica, el usuario tiene que hacer un barrido para certificar que estas redes están realmente disponibles. La ventaja de utilizar el servidor es que si no hay redes de una determinada tecnología el usuario no tiene que encender la interfaz para hacer el barrido. El barrido es la etapa que consume más tiempo de todo el proceso de transición.
- **Averiguación de recursos:** cuando el usuario ha descubierto las redes candidatas, averigua los recursos disponibles en cada una de ellas. Conviene reseñar que si el servidor de información le indica al usuario que hay varias redes, éste puede tener que averiguar los recursos de todas ellas.
- **Elección de la red (algoritmo de decisión):** basándose en los recursos disponibles en cada una de las redes, el usuario elige una de ellas para conectarse. Un aspecto a tener presente es que después de decidir a qué red se va a conectar puede apagar las interfaces que estuvieron activas en el barrido. El algoritmo de elección de la mejor red está fuera del ámbito de este trabajo.
- **Reserva de recursos:** tras elegir la red más adecuada el usuario hace una reserva de recursos en la red a la que va a conectarse.

## Ejecución

Durante la fase de ejecución se realiza la transición entre las redes. Usualmente, primero se realiza un mecanismo de autenticación entre el usuario y la red candidata mediante el uso de credenciales. Luego, tiene lugar el mecanismo de asociación, también entre el usuario y la red a la que el usuario está haciendo la transición. En esta fase se hace uso del protocolo de movilidad (IPv4 Móvil u otro), obteniendo el usuario una dirección temporal para comunicarse en la nueva red. Por último, se realiza el proceso de transferencia del enlace a la nueva estación base y la asignación del nuevo canal.

La gran mayoría de los trabajos existentes se centran básicamente en las dos últimas fases de la transición de redes (preparación y ejecución). En la fase de preparación se trabaja con algoritmos para la elección de la mejor red basándose en una serie de parámetros, fundamentalmente el coste de conexión y la calidad de servicio. Utilizando la información de las redes vecinas el algoritmo de decisión genera un *ranking* de acuerdo a las preferencias del usuario eligiendo la red con mejor puntuación. En la fase de ejecución se intenta cambiar o suprimir algunos de los mensajes de los protocolos estándares de movilidad mejorando la experiencia móvil del usuario.

Este trabajo se centra en minimizar el retardo en la fase de preparación de la transición, más concretamente en optimizar la búsqueda de redes vecinas a través del uso de un sistema de movilidad que mejore indiscutiblemente la calidad de las transiciones y la experiencia móvil del usuario.

#### 2.7.4 Protocolos de Movilidad

La heterogeneidad de las redes inalámbricas requiere un protocolo común de comunicación entre las entidades de las redes, que es el protocolo IP, base de la actual Internet. Este protocolo se diseñó asumiendo que los sistemas finales eran estacionarios. Cada nodo se identifica de manera única por medio de una dirección que, a su vez, es utilizada tanto para indicar la red a la que está conectado como para determinar las conexiones TCP establecidas [Pos81b]. Así, la movilidad IP es el punto de convergencia donde diferentes tecnologías pueden mantener una comunicación.

El rápido desarrollo de la informática portátil y la importante implantación de los sistemas de comunicaciones móviles permiten a los usuarios acceder a una red en cualquier momento y en cualquier lugar, sobre todo cuando se encuentran en movimiento. Sin embargo, ciertas arquitecturas de protocolos (TCP/IP) presentan serias complicaciones en el momento de tratar con terminales que requieren cierto grado de movilidad. La mayoría de las versiones del protocolo IP asume de manera implícita que el punto al cual el usuario se conecta a la red es fijo.

Por otra parte, la dirección IP del nodo o terminal lo identifica de manera unívoca en la red a la que se encuentra conectado. Cualquier paquete destinado a ese usuario es encaminado en función de la información contenida en el prefijo de red de su dirección IP. Esto implica que un usuario que se desplaza de una red a otra y que mantiene su dirección IP no será localizable en su nueva ubicación ya que los paquetes dirigidos hacia ese nodo son encaminados a su antiguo punto de conexión a la red.

#### IP Móvil

El protocolo IP Móvil [PRP02] apareció a finales del año 1996. Desde entonces este protocolo ha sido el punto de referencia de todos los trabajos sobre movilidad en redes IP. Fue diseñado para soportar movilidad en cualquier tipo de medio y en una extensa área geográfica. Su objetivo es dotar a los terminales de la capacidad de mantenerse conectados a Internet independientemente de su localización, permitiendo rastrear a un usuario sin necesidad de cambiar su dirección IP original. Así, los paquetes destinados a un usuario primeramente son dirigidos a su red local. Allí, un agente local los intercepta y mediante un túnel los reenvía a la dirección temporal recientemente informada por el usuario. En el extremo del túnel un agente foráneo recibe los paquetes y se los entrega al usuario. Las principales características del protocolo IP Móvil son:

- **No posee limitaciones geográficas:** un usuario puede usar su portátil o su dispositivo móvil en cualquier lugar sin perder conexión a la red.
- **No requiere conexión física:** IP Móvil encuentra *routers* y se conecta automáticamente.
- **No requiere modificar *routers* ni terminales:** a excepción del nodo o *router* móvil, los demás *routers* y terminales permanecen usando su dirección IP actual. IP Móvil no afecta a los protocolos de transporte ni a protocolos superiores.

- **No requiere modificar las direcciones IP actuales ni su formato:** las direcciones IP actuales y sus formatos no varían.
- **Soporta seguridad:** utiliza mecanismos de autenticación para garantizar la protección de los usuarios.

IP Móvil define tres entidades funcionales donde se implementan los protocolos de movilidad:

- **Nodo Móvil:** un nodo que puede cambiar su punto de acceso a la red de un enlace a otro manteniendo cualquier comunicación y utilizando sólo su dirección IP permanente (*Home Address*). Esta dirección es asignada de la misma forma que se asigna una dirección a un *host* fijo o a un *router*.
- **Agente Local:** un *router* con una interfaz a la red local que mantiene información de la situación actual del nodo móvil (representada, como veremos a continuación, por su dirección temporal). Además, envía mensajes de información de la red (*Advertises Reachability*) y se encarga de capturar los paquetes destinados al nodo móvil y enviarlos por medio de un túnel a su localización actual.
- **Agente Foráneo:** un *router* con una interfaz a una red externa, donde está situado el nodo móvil en la actualidad. Este agente se encarga de ayudar al nodo móvil informando al agente local de la dirección temporal asignada al nodo. En algunos casos proporciona dicha dirección y actúa como punto de salida del túnel, aunque, como veremos posteriormente, no es obligatorio. Por último, actúa como *router* de salida encaminando los paquetes generados por el nodo móvil mientras se encuentra conectado a la red foránea.

La Figura 2.8 ilustra un escenario donde se hace uso del protocolo IP Móvil.

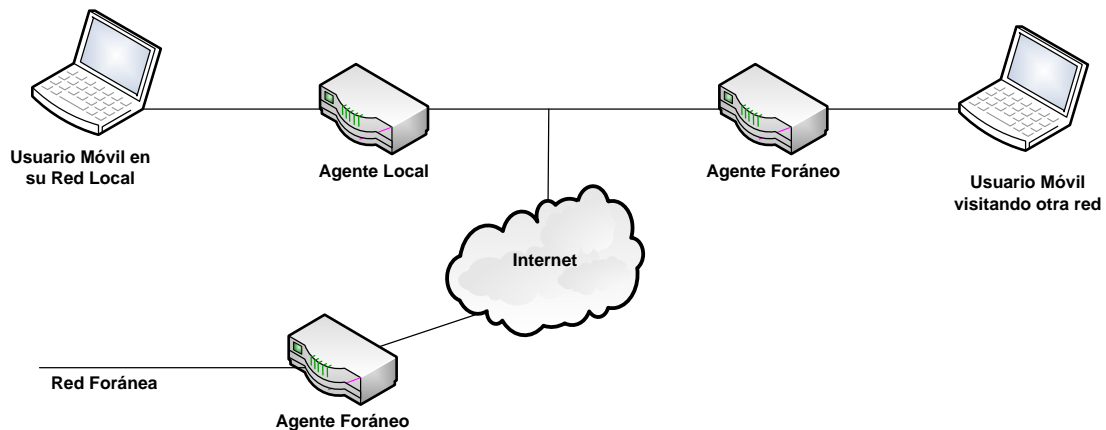


Figura 2.8: Funcionamiento del protocolo IP Móvil

Cuando un usuario móvil se encuentra lejos de su red local debe encontrar algún agente para no perder su conexión a Internet. Existen dos modos para encontrar agentes: uno de ellos es seleccionando a un agente de movilidad a través de mensajes de difusión que éstos emiten periódicamente anunciando su disponibilidad en cada enlace en donde pueden proveer servicios; la otra forma es mediante la emisión de solicitudes sobre el enlace por

parte del nodo, hasta obtener respuesta de algún agente de movilidad que esté presente. Una vez encontrado el agente, el nodo móvil deduce si se encuentra en su red local o en una red externa. Si se encuentra en su red local opera sin servicios de movilidad, mientras que si se encuentra en una red externa obtiene su dirección temporal que puede ser asignada dinámicamente o asociada a su agente foráneo.

Una vez obtenida la dirección temporal, el nodo móvil debe registrarla con su agente local para obtener servicios. El proceso de registro puede ser realizado a través de una solicitud de registro enviada directamente desde el nodo móvil al agente local y recibiendo de éste un mensaje de respuesta o, indirectamente, reenviada por el agente foráneo al local, dependiendo de si la dirección temporal fue asignada dinámicamente o asociada a su agente foráneo. Después del proceso de registro el nodo móvil permanece en el área de servicio hasta que expire el tiempo de servicio otorgado o hasta que cambie su punto de enlace a la red. Durante este tiempo el nodo móvil obtiene paquetes reenviados por el agente foráneo, los cuales fueron originalmente enviados desde el agente local. El túnel es usado para reenviar los mensajes desde el agente local al agente foráneo y, finalmente, al nodo móvil.

Una vez que el nodo móvil regresa a su red, cancela el registro hecho anteriormente con su agente local para dejar sin efecto su dirección temporal, enviando un requerimiento de registro con tiempo de vida igual a cero. El nodo móvil no necesita cancelar el registro del agente foráneo dado que el servicio expira automáticamente cuando finaliza el tiempo de servicio.

## IPv6 Móvil

El diseño del protocolo IPv6 Móvil [JPA04] representa una combinación de la experiencia obtenida desde el desarrollo de IP Móvil, con las oportunidades proporcionadas por el diseño y desarrollo de la nueva versión de IP llamada IPv6 y las características de ésta. IPv6 Móvil comparte muchas características con IP Móvil y presenta muchas mejoras sobre éste. Algunas de las principales diferencias son:

- El problema que en IP Móvil se conoce como encaminamiento ineficiente o triangular está superado en IPv6 debido a la integración de la optimización del encaminamiento como parte fundamental del protocolo. Esta integración permite encaminar paquetes directamente desde un nodo correspondiente a cualquier nodo móvil, sin necesidad de que pasen a través de la red local del nodo móvil para que su agente local los reenvíe.
- Con el protocolo IPv6 Móvil los paquetes enviados por el nodo móvil llevan como dirección origen la dirección temporal en la cabecera IP, y además llevan una opción para el destino con la dirección local. Esto hace que sea transparente para todos los *routers* y para las capas superiores.
- El uso de la dirección temporal como dirección origen de los paquetes IP simplifica el encaminamiento multidifusión de paquetes enviados por el nodo móvil. Con IP Móvil el nodo móvil debe usar un túnel hasta su agente local para poder usar de forma transparente su dirección local como dirección origen de los paquetes multidifusión que envíe.
- Con IPv6 Móvil no es necesario desarrollar *routers* especiales para que actúen como agentes foráneos, como los requeridos con IPv4. Además, el protocolo usa las

características proporcionadas por IPv6 tales como descubrimiento de vecino y autoconfiguración de direcciones para operar en redes lejanas a su red local sin el soporte especial de su *router* local.

- Con IPv6 Móvil muchos de los paquetes que se envían a un nodo móvil que se encuentra lejos de su red local llevan una cabecera de encaminamiento IPv6 mientras que con IP Móvil llevan una cabecera de encapsulación de IP, debido a que todos los paquetes deben ser encapsulados. El uso de una cabecera de encaminamiento requiere menos bytes de encabezado adicionales, reduciendo el procesamiento del paquete IP móvil entregado.
- Cuando un nodo móvil no se encuentra en su red local, su agente local intercepta cualquier paquete destinado al nodo móvil que llega a su red local, usando la función de descubrimiento de vecino del protocolo IPv6 en vez de usar ARP como en IP Móvil. Esto mejora la robustez del protocolo y simplifica la implementación de IP Móvil, al ser independiente de la capa de enlace, hecho que no ocurre usando ARP.

### IPv6 Móvil Rápido

Para reducir el tiempo de los traspasos entre *routers* de acceso en IPv6 Móvil, el IETF (*Internet Engineering Task Force*) estandarizó un mecanismo de traspasos rápidos con el objetivo de alcanzar de forma más rápida la conectividad IP con el nuevo *router* de acceso, reduciendo el tiempo en el que el móvil no puede transmitir/recibir datos debido a las funciones de configuración de IPv6 Móvil (detección de movimiento, configuración de direcciones y actualización de la localización).

IPv6 Móvil Rápido [Koo08] se basa en la anticipación de la información del nuevo *router* de acceso al móvil, incluso antes de moverse al nuevo punto de acceso. El protocolo permite a un móvil detectar que se está moviendo a una nueva subred proporcionando la identificación del nuevo punto de acceso y la información de encaminamiento (prefijo de red) cuando el móvil aún está conectado a su subred actual. Por ejemplo, un móvil puede descubrir los puntos de acceso disponibles utilizando mecanismos de la capa de enlace (radio) y después pedir la información relacionada con uno o varios de los puntos de acceso descubiertos.

Una vez detectados los puntos de acceso y teniendo la información de encaminamiento, el móvil inicia un proceso para establecer un mapeo entre su dirección de subred actual PCoA (*Previous Care of Address*) y la dirección de subred de destino NCoA (*New Care of Address*), y establecer un túnel entre los *routers* de acceso origen y destino para que no haya pérdida de paquetes durante la transición.

### IPv6 Móvil Jerárquico

El IETF ha especificado una serie de requerimientos para protocolos/extensiones adicionales al protocolo original IP Móvil con el objeto de mejorar el rendimiento de estos protocolos en la gestión de la movilidad en entornos de acceso (definidos como entornos de movilidad local). Una de las propuestas de movilidad local es el mecanismo de movilidad jerárquica (HMIPv6, del inglés *Hierarchical Mobile IPv6*) [SCMB08].

En HMIPv6 se añade un elemento, el Punto de Anclaje de Movilidad, abreviadamente MAP (*Mobility Anchor Point*), que se encarga de gestionar la movilidad local de la misma forma que el agente local en un nivel de jerarquía superior. De esta forma, cuando el usuario se mueve entre subredes que están controladas por el mismo MAP, no es necesaria la actualización con el agente local; ésta se realiza con el MAP, que es un nodo que

está mucho más cercano (pertenece a la red de acceso), por lo que el retardo (y, por tanto, la pérdida de paquetes) y los mensajes de señalización (que se envían al núcleo de la red) disminuyen.

### IPv6 Móvil Proxy

El IPv6 Móvil Proxy (PMIPv6, del inglés *Proxy Mobile IPv6*) [GLD<sup>+</sup>08] es un protocolo de movilidad basado en [JPA04] que se encarga de la gestión de la movilidad local IP de un móvil, sin intervención de éste, trasladando toda la gestión de la movilidad local IP a la red. La arquitectura de esta propuesta se denomina NETLMM (*Network Based Localized Mobility Management*). Dos entidades son definidas en la arquitectura de movilidad del PMIPv6:

- El elemento de Anclaje de Movilidad Local, abreviadamente LMA (*Local Mobility Anchor*) es el responsable de mantener el estado de conectividad (y movilidad) del móvil y es el punto de anclaje para los prefijos (direcciones) asociados al móvil.
- La Pasarela de Acceso Móvil, abreviadamente MAG (*Mobile Access Gateway*), es la entidad que realiza los procedimientos de gestión de movilidad en nombre del móvil y que se encuentra en el enlace al que está conectado. El MAG es responsable de la detección de los movimientos del móvil y de iniciar los procedimientos de actualización con el LMA.

La arquitectura permite varios LMA en un dominio, cada uno sirviendo a un grupo de móviles. Cuando el móvil entra en un dominio a través de su enlace de acceso, el MAG de ese enlace identifica y autoriza al móvil para realizarle la gestión de la movilidad, haciéndole llegar toda la información de conectividad (prefijos, dirección del *router* por defecto, etc.) necesaria para configurar su dirección y la conexión a la red. Desde la perspectiva del móvil, el dominio aparece como un único enlace. La red asegura que el móvil no detecta ningún cambio respecto a su punto de conectividad IP, incluso al moverse de punto de acceso de red.

## 2.8 Síntesis del Capítulo

El principal objetivo de este capítulo ha sido revisar conceptos y características de las principales redes de comunicación existentes actualmente: las redes Wi-Fi, las redes Wi-Max, las redes 3G y, por último, las redes de cuarta generación. Cada una de estas tecnologías posee unas particularidades y características propias que hasta ahora no interactuaban. Debido a la llegada de dispositivos móviles cada vez más sofisticados y con muchos más recursos, existe una creciente demanda de servicios y redes de cuarta generación. Asimismo, se han revisado los conceptos de movilidad en redes heterogéneas y los principales protocolos utilizados en el mundo de las comunicaciones inalámbricas.

Los operadores de telecomunicaciones ya están preparando sus redes para la adopción de un estándar común de comunicación en todo el mundo. El objetivo principal es ofrecer múltiples servicios utilizando distintas tecnologías con características diferentes ofreciendo al usuario un mundo cada vez más móvil y cada vez más convergente.





## Capítulo 3

# Transición Independiente del Medio

Este capítulo está dedicado al nuevo estándar IEEE 802.21 que ofrece una arquitectura de movilidad que permite la interoperabilidad entre redes heterogéneas.

Comienza con un repaso de los principales conceptos del estándar IEEE 802.21, también conocido como Transición Independiente del Medio (abreviadamente MIH, del inglés *Media Independent Handover*), señalando sus objetivos, características y aplicaciones. También se describe la entidad principal del MIH, su modelo de referencia, sus características y sus principales servicios para soportar una transición entre redes heterogéneas.

Posteriormente, se muestra un ejemplo de una transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max haciendo énfasis en el intercambio de mensajes entre el usuario, los puntos de acceso de ambas redes y el servidor de información que almacena la información de todas las redes en la vecindad del usuario móvil.

El capítulo finaliza con una breve síntesis de lo expuesto en el mismo.

### 3.1 Introducción

Un grupo de trabajo compuesto por más de 80 empresas e instituciones tecnológicas (Nokia, Siemens, NEC Europe, InterDigital, T-System, NIST, Telcordia Technologies, Alcatel-Lucent, Intel, Motorola, etc.) y más de 300 investigadores pertenecientes a varios Centros de Excelencia en I+D de todo el mundo, comenzó la especificación del estándar en marzo de 2004, elaborando en 2005 un primer borrador con la definición inicial del protocolo y publicando cuatro años más tarde la versión final del estándar.

El objetivo principal del estándar es mejorar la experiencia del usuario y facilitar la transición entre distintas redes de comunicación. Para ello el estándar proporciona una arquitectura de movilidad que permite gestionar la interconexión de distintas redes inalámbricas posibilitando una continuidad de servicio transparente mientras que un usuario móvil hace la transición entre diferentes tecnologías.

Como se muestra en la Figura 3.1, la arquitectura de movilidad consta de 3 niveles. En el nivel intermedio está la Función Transición Independiente del Medio (abreviadamente MIHF, del inglés *Media Independent Handover Function*) que es el principal componente del estándar IEEE 802.21. El MIHF se encarga de gestionar la comunicación entre las capas inferiores y superiores. Las capas inferiores se refieren a las capas físicas y de enlace, es decir, todos los cambios que ocurren en la interfaz se generan en estas capas y se envían al MIHF, que se encarga de reenviarlos a las capas superiores o Usuarios MIH (abreviadamente MIHU, del inglés *MIH User*). Estos pueden ser una aplicación o algún

protocolo de movilidad. Asimismo, existe un conjunto de servicios necesarios para que haya comunicación entre las capas inferiores y las capas superiores de la arquitectura de movilidad.

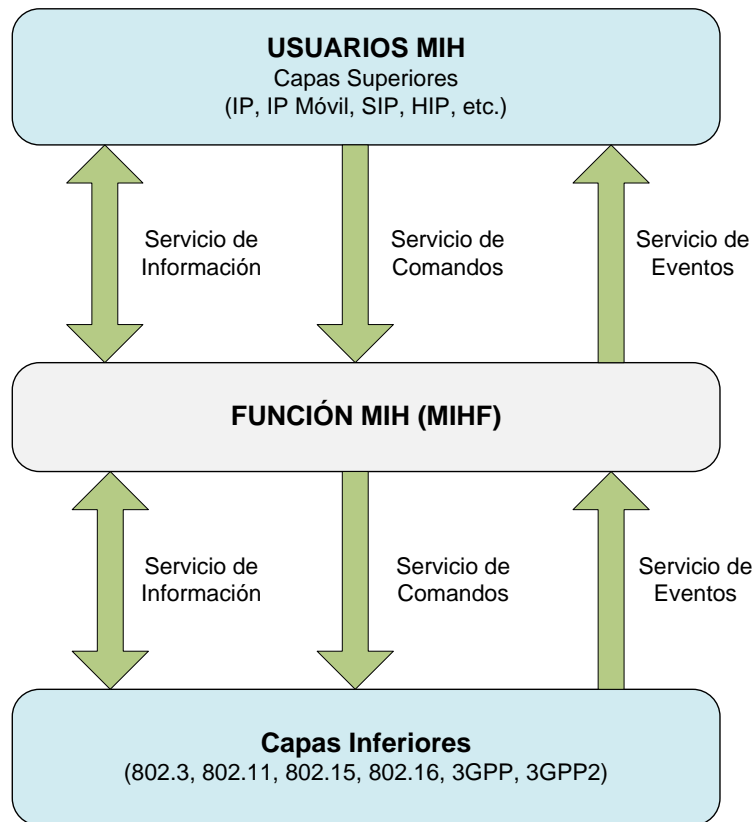


Figura 3.1: Arquitectura general del estándar IEEE 802.21

El estándar soporta transiciones tanto en nodos móviles como fijos. En los nodos móviles la transición puede ocurrir como consecuencia de cambios en las condiciones del enlace inalámbrico. Los nodos fijos pueden solicitar la transición cuando haya una red más atractiva que otra (en términos de ancho de banda, coste, QoS y/o seguridad).

La cooperación entre el usuario móvil y la red es de fundamental importancia para el funcionamiento del protocolo IEEE 802.21. El usuario debe detectar las redes que estén disponibles en su área de cobertura y la red debe almacenar la máxima cantidad de información de las redes vecinas. Información como la lista de los puntos de acceso en la vecindad, la localización de los usuarios móviles y la disponibilidad de servicios de las capas superiores deben almacenarse en una entidad de la red, que puede ser centralizada o distribuida, dependiendo de la cantidad de operadores y del tamaño de la red en cuanto a números de puntos de acceso, usuarios móviles, etc.

La decisión de hacer la transición la puede tomar el usuario móvil o la red a la que esté asociado. Basándose en la información contenida en un servidor de información, el usuario puede iniciar la transición de una red a otra. Para ello el nodo móvil y la red deben soportar múltiples interfaces de comunicación como Wi-Fi, Wi-Max, UMTS, 3G, etc., además de permitir conexiones simultáneas en más de una interfaz.

Para ofrecer transición entre redes heterogéneas de forma transparente al usuario móvil, el estándar posee las siguientes funcionalidades (véase la Figura 3.2):

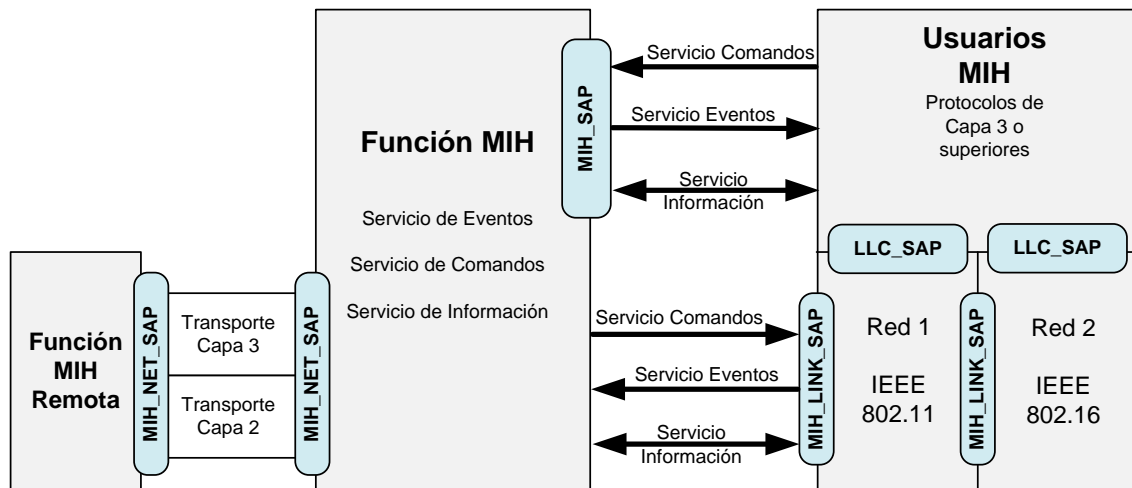


Figura 3.2: Entidades del estándar IEEE 802.21

- Una arquitectura que permite a un usuario móvil desplazarse por distintas redes (diferentes capas de enlace) sin pérdida de conectividad. La arquitectura cuenta con la presencia de una pila de protocolos de gestión de movilidad en cada elemento participante de la red, sea un terminal móvil, un punto de acceso o un *router*.
- Un punto de conexión (**MIH\_SAP**) entre el MIHF y los usuarios MIH, que son los protocolos de capa de red o superiores. La existencia de este enlace permite a los usuarios MIH acceder a la información de las redes antes de hacer la transición.
- Un conjunto de funciones dentro de la entidad de gestión de movilidad de los elementos de la red conocido como MIHF. El MIHF es la principal entidad de la arquitectura y controla todo el tráfico de información del protocolo.
- Comunicación entre entidades MIHF: distintas entidades MIHF pueden comunicarse entre sí. Por ejemplo, para intercambiar información sobre el estado actual de la red, para ayudar en el proceso de elección de la mejor red para hacer la transición, etc. El estándar IEEE 802.21 especifica interfaces de comunicación entre los usuarios móviles y los puntos de conexión de la red así como entre los elementos internos de la misma. La información se intercambia entre las capas inferiores y las capas superiores, teniendo como punto de referencia el MIHF. De esta forma, puede haber comunicación local (utilizando la misma pila de protocolos) o comunicación remota (entre diferentes entidades MIHF).
- El MIHF ofrece 3 tipos diferentes de servicios, que son necesarios para la comunicación entre las capas inferiores y las capas superiores de la arquitectura general del MIH.

## 3.2 Características

El MIHF, que es la principal entidad de la arquitectura IEEE 802.21, ayuda en la toma de decisiones de transición entre redes. Las capas superiores deciden las transiciones y seleccionan los enlaces en base a entradas y al contexto del MIHF. Identificar la necesidad

de realizar una transición y determinar la información para que ésta sea eficiente son componentes claves del estándar IEEE 802.21.

Los servicios ofrecidos por el MIHF no dependen de la tecnología de las redes de acceso. La función MIH se comunica con las capas inferiores de la pila del protocolo de gestión de movilidad a través de interfaces de una tecnología específica. Estas interfaces se especifican dentro de los estándares correspondientes a las tecnologías de acceso incluyendo IEEE 802.3, IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3GPP y 3GPP2.

Según el estándar, distintos factores del usuario o de la red pueden influir en el proceso de transición entre redes. A continuación se muestra un listado de los principales factores a tener en cuenta al iniciar un proceso de transición entre redes:

- **Continuidad del servicio:** se define como la no interrupción del servicio durante y después de la transición entre redes con objeto de que la pérdida de datos sea mínima. Todo este proceso debe hacerse sin intervención manual del usuario. Asimismo, el usuario puede ser notificado de que la conexión ha cambiado pero, en ningún momento, debe intervenir en el restablecimiento del servicio.
- **Tipo de aplicación:** las aplicaciones se comportan de diferente manera ante la pérdida de datos y retardos en la transmisión. Las aplicaciones que hacen uso de la transmisión de paquetes de datos tienen menos restricciones que las aplicaciones de transmisión de voz y/o vídeo donde se puede notar claramente el retardo o la pérdida de información. Debido a esto tanto el protocolo MIH como la aplicación que se está ejecutando deben ser inteligentes para que el usuario sufra pocas pérdidas de datos y ninguna interrupción de transmisión. Por ejemplo, el retardo en una transmisión de datos utilizando el protocolo FTP apenas se nota, mientras que en una conversación puede que sea necesaria la retransmisión de información.
- **Calidad de servicio (QoS):** la calidad de servicio requerida por una aplicación depende de la velocidad, fiabilidad y disponibilidad de la red. La QoS es importante para decidir si hacer o no la transición. Por ejemplo, si una aplicación disfruta de una buena QoS en una red y se cambia a otra que la tenga peor, la aplicación sufrirá pérdidas de paquetes, retardos en la transmisión, caída del servicio, etc.
- **Descubrimiento de redes:** el descubrimiento de redes forma parte de la segunda etapa en el proceso de transición entre redes, que es la etapa de descubrimiento de información, servicios y características de las redes, independientemente de su tecnología. El tipo de red, identificación de la misma, disponibilidad, calidad, configuración IP, seguridad, etc., son ejemplos de información recibida por el usuario al hacer un barrido de redes en su vecindad.
- **Selección de la red:** es el proceso por el que un nodo elige una red (posiblemente entre varias) para conectarse a nivel de red. Esta selección puede basarse en varios factores: calidad de servicio requerida, preferencias del usuario, coste, políticas de los proveedores de la red, etc.
- **Política de transición:** el estándar IEEE 802.21 no especifica ningún algoritmo para la selección de la red ya que ésta es un proceso totalmente dinámico y depende de información real de las redes disponibles. Calidad de servicio, seguridad, retardo, pérdida de paquetes, nivel de sensibilidad de recepción de la señal, velocidad de transmisión, coste, tipo de red, etc., son variables que pueden formar parte de una política de transición. En este trabajo no se hará ninguna especificación del algoritmo

de selección de red. Conviene recordar que el objetivo de este trabajo es descubrir redes e información y especificar un sistema de información de movilidad que mejore la transición del usuario móvil en entornos heterogéneos. El algoritmo de selección de red utilizará este servidor de información para tomar la decisión de cambiar de red.

Otra característica importante se refiere a la implementación del estándar. Desde 2009, año en el que se estandarizó el protocolo IEEE 802.21, varios fabricantes (Intel, Nokia Siemens, NEC, Alcatel-Lucent, etc.) han empezado a implementarlo con el ánimo de verificar y perfeccionar su funcionamiento en entornos reales. Para un correcto funcionamiento del protocolo el IEEE exige lo siguiente:

- El usuario móvil debe ser capaz de soportar múltiples interfaces de red, que pueden ser radios inalámbricos o interfaces de red cableada, o ambas.
- El MIHF es una entidad lógica que puede implementarse tanto en terminales móviles como en elementos fijos de la red (como estaciones base o puntos de acceso). Además, debería funcionar con los equipos ya existentes en el mercado.
- El MIHF de cualquier entidad fija de la red o del terminal móvil debe transmitir y recibir información sobre las condiciones y configuraciones de las redes que están en su alrededor. Esta información puede originarse en distintas capas de la pila de protocolos dentro del terminal móvil o en uno de los elementos remotos de la red.

### 3.3 Servicios MIH

El estándar IEEE 802.21 define tres servicios principales que ayudan a mejorar la transición entre distintas tecnologías de redes. Definidos como Servicio de Eventos, Servicio de Comandos y Servicio de Información, estos servicios son interfaces de comunicación entre las capas inferiores y superiores de la pila de protocolos del modelo de comunicación. Información detallada de las características del estándar IEEE 802.21 se encuentra en [dIOBS<sup>+</sup>08] y en [IEE09]. La Figura 3.3 ilustra el modelo de referencia de comunicación entre las capas del protocolo utilizando los servicios especificados por el estándar.

Estos servicios, que son ofrecidos por la entidad MIHF, ayudan a los usuarios MIH (las capas superiores) en el mantenimiento de la continuidad del servicio, en la adaptación de la calidad de servicio, en la conservación del nivel de batería del terminal móvil y en el descubrimiento y selección de redes. En cada uno de estos servicios hay una serie de mensajes que están especificados por el estándar IEEE 802.21. Estos servicios son administrados y configurados por primitivas de administración, siendo necesarios para el establecimiento de comunicación entre dos entidades MIHF. De este modo, antes de que una entidad MIHF suministre servicios a otra MIHF, las mismas deben configurarse adecuadamente. Para ello, el estándar especifica 3 etapas denominadas funciones de administración de servicios. Estas 3 funciones son:

- Descubrimiento de servicios MIH.
- Registro MIH.
- Suscripción a eventos MIH.

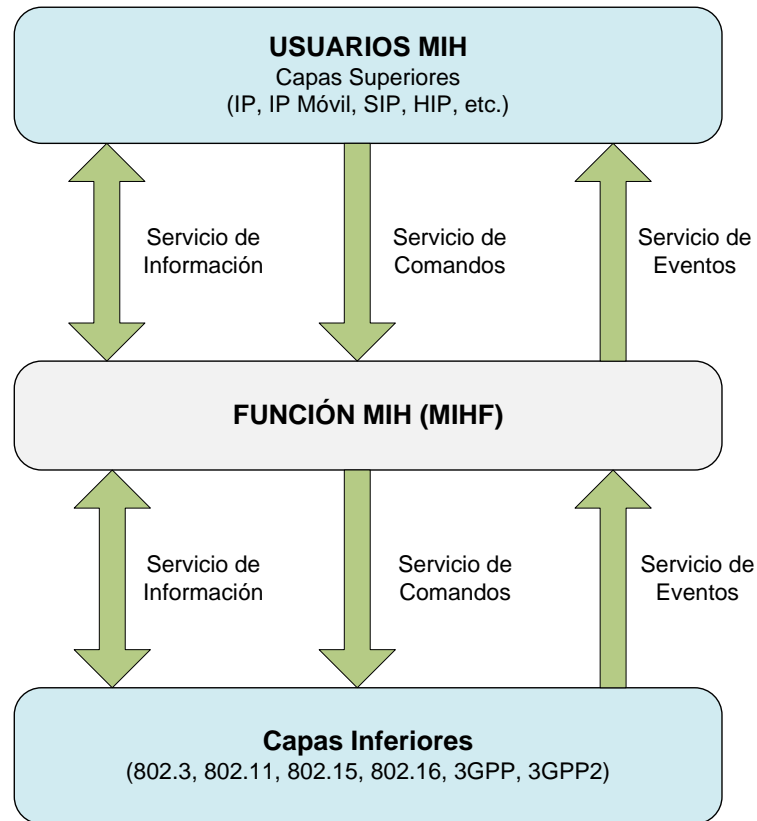


Figura 3.3: Servicios MIH

La Tabla 3.1 muestra cada una de estas funciones de administración de servicios según el estándar. También se puede ver qué funciones se ejecutan local y/o remotamente.

La función Descubrimiento de Servicios MIH es utilizada por un usuario MIH para averiguar los servicios disponibles en entidades MIHF local o remotamente. En otras palabras, con este mensaje el usuario puede saber qué servicios (eventos, comandos o información) están disponibles en otra entidad MIH.

La segunda función, denominada Registro MIH, ofrece a una entidad MIH un mecanismo de registro e inscripción en otra entidad MIH. Por ejemplo, un usuario móvil puede enviar este mensaje a un punto de acceso para anunciar su presencia en la red. De acuerdo con el estándar esta función es opcional, así que un nodo puede tener acceso a los servicios de otra entidad MIH sin registrarse previamente.

Por último, y no menos importante, existe la función de Suscripción a Eventos MIH. Esta función permite a una MIHF suscribirse a eventos generados por otra MIHF. Por ejemplo, un usuario puede suscribirse a los eventos de las capas física y de enlace de un punto de acceso. Así, si hay algún cambio en la información o propiedades del punto de acceso, automáticamente se envía un mensaje al usuario. Con esta información puede decidir si se cambia de red o no.

### 3.3.1 Servicio de Eventos Independiente del Medio

La decisión de hacer la transición entre dos redes puede iniciarse tanto por el usuario móvil como por alguna entidad de la red. En ambos casos la decisión se toma en base a la

Tabla 3.1: Funciones de administración de servicios

Función	(L)ocal o (R)emota	Descripción
<i>MIH Capability Discovery</i>	L, R	Descubrir la lista de servicios soportados (eventos, comandos e información) de una MIHF, sea ésta local o remota.
<i>MIH Register</i>	R	Registrar a una MIHF remota.
<i>MIH DeRegister</i>	R	Cancelar el registro a una MIHF remota.
<i>MIH Event Subscribe</i>	L, R	Suscribirse a uno o más eventos de una MIHF local o remota.
<i>MIH Event Unsubscribe</i>	L, R	Anulación de la suscripción a uno o más eventos de una MIHF local o remota.

información de la red. Comúnmente, esta información proviene de los eventos generados por la capa de enlace, por la capa física o por eventos internos de la MIHF del usuario móvil o de la red. Múltiples usuarios o entidades de la red pueden estar interesados en estos eventos que contienen importante información de la red. De esta forma, estos eventos pueden tener múltiples destinos y las entidades que desean recibir esta información pueden registrarse para saber periódicamente las condiciones de la red. En este apartado se especifica el Servicio de Eventos Independiente del Medio (MIES, del inglés *Media Independent Event Service*) ofrecido por el estándar IEEE 802.21.

Como ejemplo del funcionamiento del servicio de eventos se puede imaginar un escenario donde varios nodos móviles están interesados en la información de un punto de acceso. De esta forma, cuando hay algún cambio en la capa física o en la capa de enlace del punto de acceso (como degradación de la señal), automáticamente se dispara un evento y la información se envía a todos los nodos que se hayan suscrito a este evento.

Cabe mencionar que al recibir un evento, un usuario móvil no está obligado a realizar acción alguna. Es decir, al recibir un evento el usuario puede continuar conectado o decidir cambiarse de red. No está obligado a trasladarse entre redes. El servicio de eventos es meramente informativo y ayuda al usuario a tener información más precisa de las redes.

Los eventos se clasifican en locales o remotos. Un evento local es aquel en el que la información se propaga entre distintas capas dentro de la misma entidad mientras un evento remoto es aquel en el que la información se propaga entre funciones MIHF que están en distintas entidades de la red. La Figura 3.4 ilustra cómo se originan y envían los eventos local y remotamente.

Con el ánimo de clarificar el funcionamiento de los eventos en la arquitectura propuesta por el estándar IEEE 802.21 se presenta el siguiente ejemplo. Supóngase un escenario real en el que un usuario móvil tiene dos interfaces de red activas (una interfaz Wi-Fi y una interfaz Wi-Max) y está conectado a un punto de acceso Wi-Max. Este usuario se suscribe a los servicios generados por las capas inferiores de la entidad local. La interfaz de radio Wi-Fi detecta una nueva red, es decir, recibe una trama *beacon* con un nuevo identificador de red. Automáticamente se genera un evento local para la función MIHF que retransmite la información al usuario MIH, que puede ser una aplicación VoIP (p.e. Skype). En el caso de que la aplicación VoIP desee recibir más información sobre la nueva red se genera un



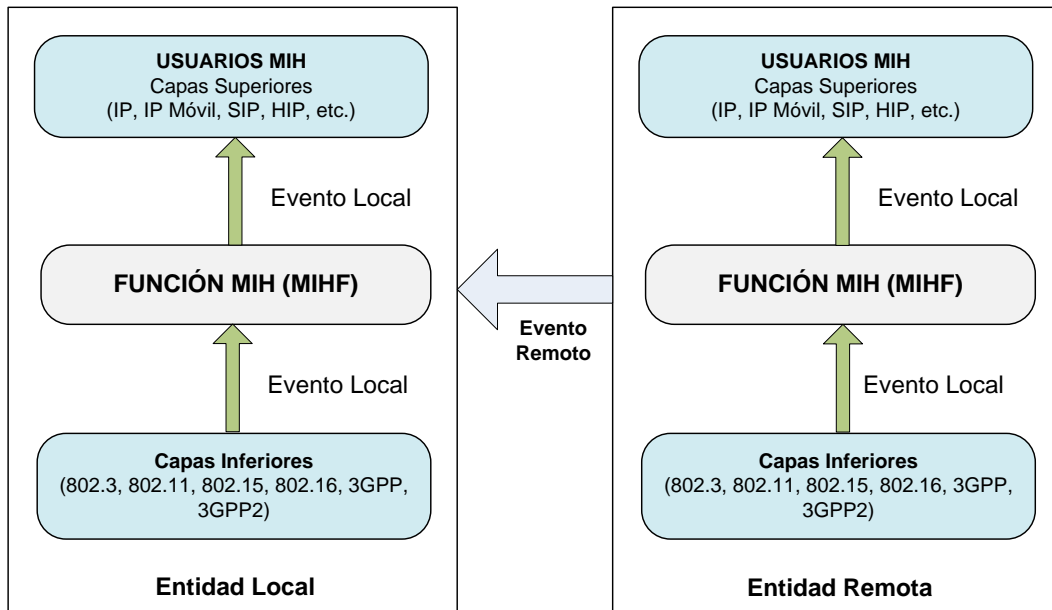


Figura 3.4: Eventos MIH

comando para la entidad local solicitando más información.

El estándar soporta una gran cantidad de eventos que se dividen en cinco grandes categorías, que se muestran en la Tabla 3.2.

### 3.3.2 Servicio de Comandos Independiente del Medio

El Servicio de Comandos Independiente del Medio, conocido como MICS (*Media Independent Command Service*), son comandos enviados por las capas superiores, es decir, por los usuarios MIH, hacia las capas inferiores del modelo de referencia de la arquitectura general del estándar IEEE 802.21. Los usuarios MIH pueden utilizar los comandos para determinar el estado del medio, así como para controlar y configurar el dispositivo móvil con el objeto de tener un óptimo rendimiento. El estado del medio varía según el tiempo y la movilidad del dispositivo. Es por ello que la información del MICS es dinámica y está formada por parámetros de la red como la potencia de la señal y la velocidad de transmisión, entre otros.

La recepción de un comando por parte de una entidad MIH puede generar uno o más eventos. Asimismo, la recepción de un comando anticipa un futuro cambio en las propiedades de alguna interfaz de la entidad receptora, que puede ser un dispositivo móvil o una entidad fija de la red como un punto de acceso o un *router*. Los usuarios MIH que se hayan suscrito a los eventos de esta entidad recibirán automáticamente un evento indicando que un cambio inminente va a ocurrir en alguna interfaz de red. De esta forma, los usuarios MIH pueden prepararse adecuadamente.

Como ocurre con los eventos, estos comandos pueden ser locales o remotos. La Figura 3.5 ilustra cómo se originan y envían los comandos local y remotamente.

En el estándar se definen numerosos comandos. En la Tabla 3.3 se citan los comandos más relevantes para este trabajo.

Tabla 3.2: Eventos MIH

Tipo de evento	Descripción
Cambios en las capas física y de enlace	La detección de una nueva red ( <i>Link_Detected</i> ) o la caída de un enlace ( <i>Link_Down</i> ) son ejemplos de este tipo de eventos.
Cambios en los parámetros del enlace	Se generan cuando ocurre algún cambio en los parámetros de configuración de la capa de enlace. Un ejemplo es la potencia de recepción de la señal. Un dispositivo recibe la señal del punto de acceso con un valor de -70 dB y, en el caso de que este valor llegue a -80 dB, se generará un evento y el dispositivo automáticamente lo recibirá.
Predictivo	Anuncian la probabilidad de cambios en el enlace en un futuro próximo. Un ejemplo es la disminución de la potencia de la señal ( <i>Link_Going_Down</i> ) que indica la pérdida de conectividad en un futuro próximo.
Transición	Informan a las capas superiores sobre la ocurrencia de transiciones entre diferentes capas de enlace. Como ejemplo de este tipo de evento están los mensajes <i>Link_Handover_Imminent</i> y <i>Link_Handover_Complete</i> .
Transmisión	Indican el estado (éxito o fallo) de la transmisión. Este tipo de evento se utiliza por las capas superiores para la administración de la caché cuando hay una transición entre redes y todavía hay información pendiente de entregar a la aplicación.

### 3.3.3 Servicio de Información Independiente del Medio

El Servicio de Información Independiente del Medio, conocido como MIIS (*Media Independent Information Service*), ofrece una arquitectura donde la función MIHF residente en un usuario móvil o en la red puede descubrir y obtener información de todas las redes de una determinada zona geográfica. El objetivo es adquirir una visión global de todas las redes heterogéneas de interés para el usuario móvil en la zona con el fin de facilitar la selección y la transición entre distintas redes. Información como tipo de red, seguridad, coste de conexión, nombre del operador, localización geográfica del punto de acceso, etc., son algunos de los ejemplos de información que el usuario móvil puede obtener utilizando el servicio MIIS.

Además, el MIIS ofrece una estructura de información y comunicación que permite la transmisión de esta información a través de mecanismos como pregunta/respuesta y suscripción/notificación. El modelo de comunicación del MIIS contrasta con el modelo de comunicación del MIES y del MICS que funcionan de forma asíncrona, es decir, de forma unilateral.

De acuerdo con el estándar, la información de todas las redes (información de movilidad) se almacena en una entidad de red conocida como servidor de información o **servidor MIIS**. Basándose en la información contenida en el servidor MIIS, el usuario móvil puede hacer transiciones entre distintas redes de forma transparente, conectándose siempre a la

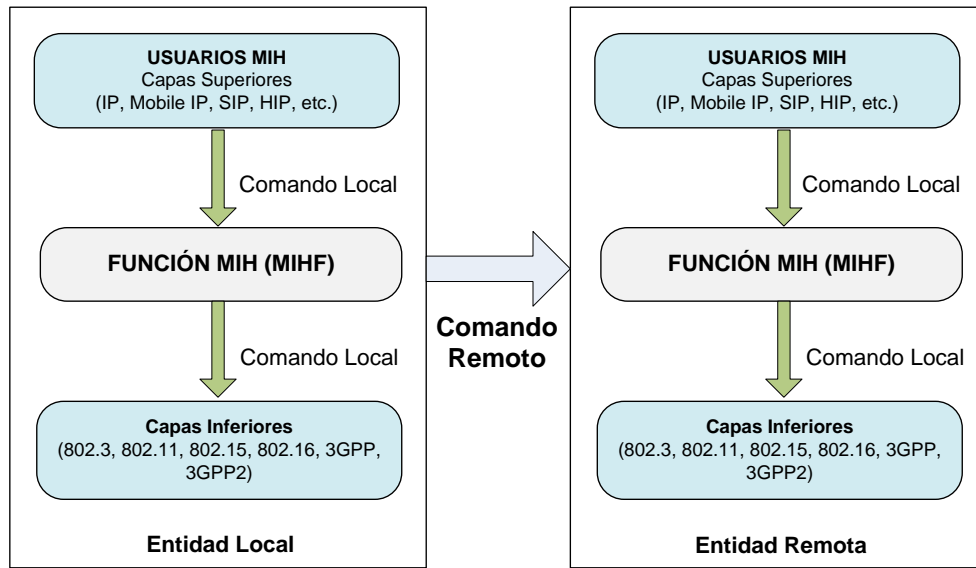


Figura 3.5: Comandos MIH

Tabla 3.3: Comandos MIH

Comando	Descripción
<i>MIH Link Get Parameters</i>	Obtención de parámetros del enlace como pueden ser la relación señal ruido, el nivel de sensibilidad de recepción de la interfaz, etc.
<i>MIH Link Configure Thresholds</i>	Configuración de umbrales para algunas propiedades o parámetros del enlace.
<i>MIH MN HO Candidate Query</i>	Este comando lo utiliza un usuario móvil para averiguar y obtener información de las redes candidatas para una futura transición.
<i>MIH MN HO Commit</i>	Cuando el nodo ya tiene claro cuál será la red elegida para la transición, envía este comando para notificar al servidor MIH la decisión.
<i>MIH N2N HO Commit</i>	Tiene como origen la red del usuario móvil y destino la red elegida e informa que el usuario ha decidido hacer la transición. Con esta información la red de destino puede iniciar la preparación de la transición como (reserva de recursos, autenticación, verificación del perfil, etc.).
<i>MIH MN HO Complete</i>	Comando para indicar la finalización de la transición.

mejor red según sus preferencias.

Usualmente, para obtener la información del servidor MIIS el usuario envía un mensaje *MIH Get Information request* y el servidor MIIS responde con un mensaje *MIH Get Information response* con la información solicitada, siendo un mecanismo del tipo pregunta/respuesta. Ambos mensajes están definidos en el estándar IEEE 802.21. Sin embargo, el usuario móvil tiene otras dos alternativas para obtener la información del servidor MIIS. El primer método consiste en obtener la información utilizando el méto-

do de suscripción/notificación, donde el usuario hace una suscripción a cualquier cambio en la información almacenada en el servidor. De esta forma, si ocurre un cambio en las prestaciones o características de alguno de los puntos de acceso del operador, todos los usuarios móviles que se hayan suscrito al servidor MIIS, automáticamente recibirán un mensaje con información actualizada. Como última alternativa el servidor MIIS puede enviar periódicamente un mensaje en difusión a todos los usuarios con información de las redes. Cada uno de los métodos anteriormente citados tiene sus ventajas e inconvenientes, dependiendo de las políticas del operador así como de su arquitectura de comunicación de datos y la cantidad de información almacenada por el servidor. En este trabajo se utilizará el mecanismo de pregunta/respuesta, es decir, se hace uso de los dos mensajes especificados por el estándar IEEE 802.21.

El servidor MIIS puede estar en la red local del usuario móvil, en la red vecina o en una red a varios saltos de distancia. La especificación de este servidor, su funcionamiento, su estructura de almacenamiento, su forma de catalogar la información y los modos de acceso al servidor no se especifican en el estándar IEEE 802.21.

Normalmente, la información ofrecida por el MIIS es estática. Parámetros como información del canal, tipo de red, dirección MAC, identificador del operador e información de seguridad del punto de conexión son algunos ejemplos de información. Para que esta información sea accesible a varios usuarios, utilizando diferentes tecnologías, el estándar especifica una estructura común de representación de la información utilizando patrones como el formato XML o codificación binaria.

Para aclarar el funcionamiento del servicio de información se muestra el siguiente escenario. El MIIS permite que la información sea accesible a cualquier usuario independientemente de la tecnología que esté utilizando. De esta forma, si un usuario móvil está comunicándose a través de la interfaz de red Wi-Fi, el MIIS permite a este usuario conocer información no sólo de las redes Wi-Fi sino también de otras redes como Wi-Max y 3G. De la misma manera, un usuario móvil con una interfaz 3G puede adquirir información de redes Wi-Fi, Wi-Max y 3G. El hecho de conocer información de otras redes permite a un usuario utilizar su interfaz de red activa para descubrir información de otras tecnologías, con el consiguiente ahorro de energía y procesamiento.

El MIIS soporta una gran variedad de elementos de información (IE, del inglés *Information Elements*) que ayudan al usuario móvil a elegir la mejor red. Los IE se dividen en tres grandes grupos. A continuación se muestran las principales características de cada grupo:

- Información general e información específica de cada red de acceso: este grupo contiene información general de las diferentes redes que estén en el rango de cobertura. Por ejemplo, una lista de las redes disponibles y sus correspondientes operadores, acuerdos de *roaming* entre operadores, el coste de la conexión a la red, la seguridad y la calidad del servicio, etc.
- Información específica del punto de conexión: este grupo proporciona información sobre los diferentes puntos de conexión (PoA, del inglés *Point of Attachment*) de cada una de las redes de acceso disponibles, incluyendo información como las configuraciones de red de un PoA, su ubicación geográfica, las velocidades de transmisión soportadas, los tipos de capas física y de enlace y los parámetros de los canales. En este grupo también están incluidos los servicios de capa superior y capacidades individuales de cada PoA.
- Otra información: este grupo contiene información específica de las redes de acceso, sus servicios específicos e información propietaria del fabricante.

La Tabla 3.4 ilustra estos grupos y su contenido. Un MIIS no debe tener necesariamente toda esta información almacenada pues los IE son opcionales.

La Figura 3.6 muestra los diferentes IE y un mapa global de las diferentes redes en una zona geográfica.

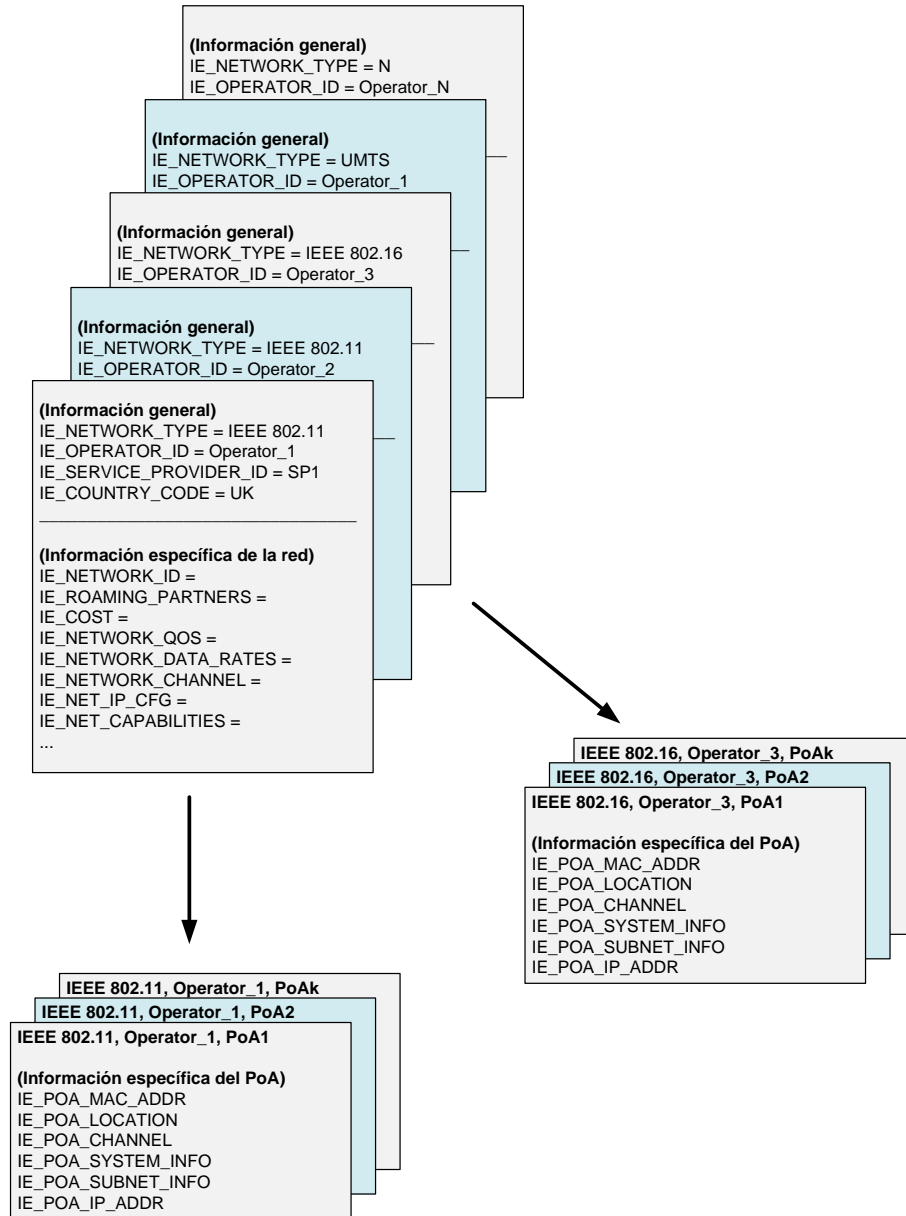


Figura 3.6: Mapa global del servicio de información

En la Figura 3.6 puede verse que distintos operadores soportan una determinada tecnología de red. De este modo, el soporte a la red IEEE 802.11 lo proporcionan el *Operator\_1* y el *Operator\_2*. Un único operador también soporta múltiples tecnologías de red. Así el *Operator\_1* soporta redes IEEE 802.11 y UMTS mientras que el *Operator\_3* soporta las redes IEEE 802.16 y UMTS. Los elementos de información general se especifican para cada red soportada por un operador. Así, en el caso del *Operator\_1* la información general de la red se especifica para las redes IEEE 802.11 y redes UMTS, mientras que en el caso del

Tabla 3.4: Elementos de información (IE)

Elemento de información	Descripción
Información general	
<i>IE_Network_Type</i>	Tipo de las redes de acceso que están disponibles en una zona geográfica determinada.
<i>IE_Operator_Type</i>	Identificador del operador de la red de acceso.
<i>IE_Service_Provider_ID</i>	Identificador del proveedor de servicios.
<i>IE_Country_Code</i>	Identificador del país.
Información específica de cada red de acceso	
<i>IE_Network_ID</i>	Identificador de la red de acceso.
<i>IE_Roaming_Partners</i>	Operadores de red con los que la red actual tiene acuerdos de <i>roaming</i> directo.
<i>IE_Cost</i>	Indicación de coste de servicio o uso de la red.
<i>IE_Network_QoS</i>	Características de calidad del servicio de la red.
<i>IE_Network_Data_Rate</i>	Valor máximo de la velocidad de transmisión de datos soportada por la capa de enlace de la red de acceso.
<i>IE_Net_Frequencies_Bands</i>	Bandas de frecuencias soportadas por la red.
<i>IE_Net_IP_CFG_Methods</i>	Métodos de configuración de direcciones IP soportados por la red de acceso.
<i>IE_Net_Mob_Mgmt_Prot</i>	Tipo de protocolo de administración de movilidad soportado.
Información específica del punto de conexión	
<i>IE_PoA_Link_Addr</i>	Dirección de capa de enlace del PoA.
<i>IE_PoA_Location</i>	Localización geográfica del PoA.
<i>IE_PoA_Channel_Range</i>	Rango de frecuencias del PoA.
<i>IE_PoA_IP_Addr</i>	Dirección IP del PoA.
Otra información	
<i>Vendor specific</i>	Información propietaria del fabricante.

*Operator\_2* se especifica solamente para la red IEEE 802.11.

### 3.4 Escenario Común de Movilidad

La Figura 3.7 muestra una transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max. Se asume que el usuario móvil posee dos interfaces de red donde ambas pueden transmitir y recibir información simultáneamente. El ejemplo contempla las tres fases (iniciación, preparación y ejecución) para facilitar la comprensión. El escenario tiene los siguientes elementos: un dispositivo móvil con dos interfaces de red (Wi-Fi y Wi-Max), un punto de acceso Wi-Fi, un punto de acceso Wi-Max y un servidor MIIS que contiene información de las dos redes.

Actualmente, el usuario está conectado a la red Wi-Fi y hace una transición a la red Wi-Max sin pérdida de conectividad, es decir, todas las aplicaciones que estén siendo ejecutadas en la red Wi-Fi pasarán a la red Wi-Max sin que el usuario apenas note el cambio. Seguidamente se describen las tres fases, ilustrando los mensajes intercambiados entre las entidades de la red.

#### 1. Iniciación de la transición

En esta primera fase el usuario móvil está conectado a la red Wi-Fi, teniendo lugar toda la comunicación a través del punto de acceso. La principal función de la fase de iniciación es identificar la necesidad de hacer una transición. Para ello, el usuario MIH (MIHU) del punto de acceso configura la interfaz Wi-Fi del usuario con algunos umbrales referentes a la calidad de servicio del enlace a través del envío del mensaje *MIH\_Link\_Configure\_Thresholds.req*. En un momento dado el usuario móvil envía un mensaje *MIH\_Link\_Parameters\_Report.ind* con información del estado del enlace inalámbrico a todos los MIHU registrados (uno en este caso). Este mensaje se genera cuando algún parámetro de configuración sobrepasa el umbral configurado para la interfaz. Estos valores pueden ser la potencia de la señal, la velocidad de transmisión de datos, el retardo de la red, etc. Este tipo de evento indica que el usuario puede perder conectividad con el punto de acceso a corto plazo.

Así que cuando la señal se degrada de forma considerable y el punto de acceso ya no puede garantizar las necesidades de calidad de servicio, el usuario envía el mensaje *MIH\_Link\_Going\_Down.ind* al MIHU del punto de acceso. Esta notificación indica que probablemente se perderá la conectividad a nivel de capa de enlace en un determinado intervalo de tiempo. Este mensaje contiene dos campos importantes:

- Intervalo de tiempo (en milisegundos) que especifica el tiempo en el cual la interfaz perderá conectividad.
- La causa por la que se perderá la conectividad.

Normalmente es una indicación al usuario móvil de que una transición va a ocurrir próximamente. Después de recibir el mensaje, el punto de acceso Wi-Fi está habilitado para iniciar una transición antes de que el usuario pierda la conexión.

En resumen, en esta primera fase se realiza la configuración de umbrales de calidad de servicio y la medición del estado del enlace del usuario móvil.

#### 2. Preparación de la transición

Una vez detectada la necesidad real de realizar la transición, se inicia la segunda fase que es la de preparación. Su objetivo es buscar las redes disponibles, verificar las características y condiciones del enlace y ejecutar un algoritmo de decisión para elegir

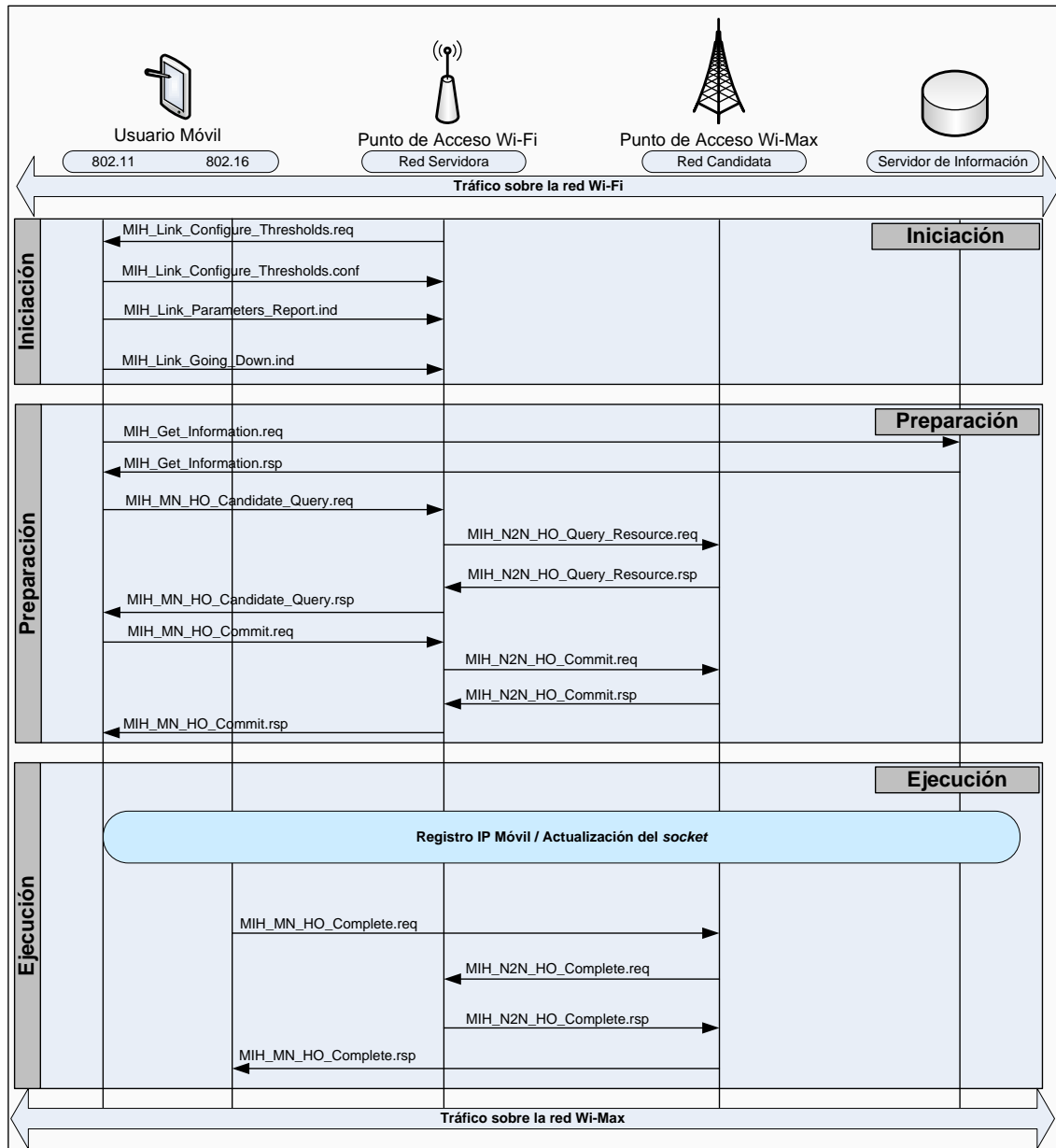


Figura 3.7: Ejemplo de una transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max

alguna de las redes candidatas. En primer lugar, el usuario móvil envía un mensaje *MIH\_Get\_Information.req* al servidor MIIS solicitando información de las redes vecinas. El servidor MIIS responde enviando un mensaje *MIH\_Get\_Information.rsp* indicando al usuario que hay redes disponibles. Una vez que el usuario recibe la respuesta del servidor MIIS, pasa a tener una visión general de las redes vecinas y sus principales características como tipo de tecnología, nombre del proveedor de servicios de telecomunicaciones, coste, QoS, canales de transmisión, etc. Posteriormente, el usuario realiza un barrido de las redes para certificar que éstas están disponibles para conexión. Tras realizar el barrido, averigua los recursos de las redes disponibles, enviando el mensaje *MIH\_MN\_HO\_Candidate\_Query.req* al punto de acceso



Wi-Fi que encamina el mensaje al punto de acceso Wi-Max.

En la Figura 3.7 sólo hay un punto de acceso candidato, que es el punto de acceso Wi-Max. Sin embargo, el mensaje se envía a todos los puntos de acceso de las redes candidatas que haya en la vecindad. La finalidad es identificar la disponibilidad de recursos en las redes candidatas como QoS, coste, ancho de banda y configuraciones de red. Además, utilizando este mensaje, el usuario puede descubrir la dirección IP del punto de acceso, antes de hacer la transición entre las dos redes. El punto de acceso Wi-Max contesta la solicitud del usuario a través del mensaje *MIH\_N2N\_HO\_Query\_Resource.rsp*. Es importante recordar que la verificación de disponibilidad de recursos se puede hacer con varias redes y varios puntos de acceso. Al final de esta fase el usuario tiene suficiente información de las redes candidatas y ya puede tomar la decisión correcta del punto de acceso candidato a elegir. Al tener la información de los recursos disponibles en cada red y en cada punto de acceso y el resultado del barrido, el punto de acceso Wi-Max es seleccionado como la red de destino. En el caso de que los recursos no estén disponibles en la red de destino, el usuario puede sufrir algún retardo o corte en la comunicación.

La última etapa de la fase de preparación es la reserva de recursos de la red a la que va a conectarse. Para la reserva de recursos el usuario envía el mensaje *MIH\_MN\_HO\_Commit.req* al punto de acceso Wi-Fi, que contacta directamente con el punto de acceso Wi-Max. Éste contesta con el mensaje *MIH\_MN\_HO\_Commit.rsp* y finaliza la etapa de preparación de la transición.

### 3. Ejecución de la transición

Durante esta fase se realiza la transición entre las redes Wi-Fi y Wi-Max. El protocolo de movilidad (IP Móvil, IPv6 Móvil, etc.) se encarga de gestionar toda la comunicación de una tecnología a otra, es decir, las sesiones activas que existan en la interfaz de red Wi-Fi se transfieren a la interfaz de red Wi-Max. Esto significa que, en este momento, las dos interfaces (Wi-Fi y Wi-Max) están activas, lo que minimiza el tiempo de transición entre las redes. Una vez que la comunicación haya sido transferida a la nueva red y los recursos de la interfaz antigua hayan sido liberados, se deshabilita la interfaz Wi-Fi del usuario móvil.

Al transferir toda la comunicación de la interfaz Wi-Fi a la interfaz Wi-Max, el usuario confirma la transición enviando el mensaje *MIH\_MN\_HO\_Complete.req* al punto de acceso Wi-Max. El punto de acceso Wi-Max envía un mensaje de confirmación *MIH\_N2N\_HO\_Complete.req* al punto de acceso Wi-Fi comunicándole la nueva conexión a nivel de red del usuario móvil. Éste responde enviando el mensaje *MIH\_N2N\_HO\_Complete.rsp* de vuelta al punto de acceso Wi-Max, que lo reenvía finalmente al usuario móvil a través del mensaje *MIH\_MN\_HO\_Complete.rsp*. A partir del envío de estos cuatro mensajes el intercambio de información se realiza a través de la red Wi-Max.

## 3.5 Síntesis del Capítulo

El principal objetivo de este capítulo ha sido revisar los conceptos y características del proceso de transición en redes heterogéneas. Además, se ha hecho una detallada descripción del estándar IEEE 802.21 que contempla una arquitectura inteligente que permite la transición entre redes heterogéneas.

Se ha visto que el estándar define tres tipos básicos de servicios (eventos, comandos e información) que proporcionan inteligencia en capa de enlace y otra información de red

relativa a las capas superiores para optimizar la transición entre redes heterogéneas. Estas redes pueden ser 3GPP, 3GPP2 y las redes pertenecientes a la familia IEEE 802: 802.3 (Ethernet), 802.11 (Wi-Fi) y 802.16 (Wi-Max).

Asimismo, se ha visto un ejemplo de transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max haciendo énfasis en el intercambio de mensajes entre el usuario móvil y los puntos de acceso de ambas redes. Conviene tener presente que la principal aportación de este trabajo es la especificación del servidor de información dando características como su ubicación, su funcionamiento, su estructura de almacenamiento, su comunicación con otros servidores, su forma de catalogar la información y los modos de acceso al servidor por el usuario final. Todo esto se trata en detalle en el siguiente capítulo.



## Capítulo 4

# Sistema de Información de Movilidad

Este capítulo describe la especificación de un sistema de información de movilidad. comienza con una breve introducción donde se manifiesta la necesidad de utilizar un servidor MIIS para la gestión de la información de movilidad en el proceso de transición entre redes de acceso de diferentes tecnologías.

Posteriormente, se describen los principales requisitos para la especificación de un sistema de información de movilidad en el que hay involucrados tanto aspectos técnicos como comerciales.

A continuación, se define el modelo conceptual del sistema donde se expone un modelo genérico de movilidad. Luego, se especifican tres tipos de servidores de información: un MIIS Zonal que atiende a los usuarios de una determinada zona geográfica, un MIIS Local que controla varias zonas de movilidad de un operador y un MIIS Global que permite la comunicación entre diferentes operadores.

El sistema jerárquico de información de movilidad contempla la movilidad de los usuarios por distintas redes y múltiples operadores. Así, también se especifica un modelo de acuerdo de nivel de servicio que permite que dos o más operadores intercambien información de movilidad.

Seguidamente, se comparan las principales características de cada servidor MIIS respecto a la arquitectura, despliegue, escalabilidad, tiempo de respuesta al usuario móvil y sus posibles ubicaciones físicas dentro de un ambiente con múltiples redes de acceso y operadores.

El capítulo finaliza con una breve síntesis de lo expuesto en el mismo.

### 4.1 Introducción

Como se ha comentado anteriormente, el estándar IEEE 802.21 define un servidor de información MIIS como un elemento o una entidad de red que ofrece a los usuarios móviles información sobre las redes en una determinada área geográfica con el objetivo de facilitar la transición entre ellas. Normalmente, esta información es utilizada por un algoritmo instalado en el usuario móvil para decidir cuál es la mejor red para el usuario, según su configuración, sus preferencias, su historial y sus políticas de movilidad.

Sin embargo, uno puede hacerse la siguiente pregunta: ¿Por qué el usuario móvil necesita un servidor MIIS para hacer una transición entre redes, si en las actuales redes celulares no existe ningún servidor MIIS y el usuario hace la transición de forma automática? La

respuesta es muy sencilla. En la transición tradicional que ocurre en redes celulares, es decir, en una transición entre dos puntos de acceso de la misma tecnología (y pertenecientes al mismo operador), la decisión de hacer la transición se basa principalmente en un único parámetro: la potencia de la señal (RSS, del inglés *Received Signal Strenght*). Así, cuando el usuario está en el borde de dos o más celdas 3G, compara el valor RSS de las señales de las redes y eligiendo la red cuya señal es la más potente.

En cambio, la comparación entre dos o más valores RSS no es suficiente para hacer una transición vertical, es decir, una transición entre redes de diferentes tecnologías. Esto es debido a que en ambientes con distintas tecnologías de redes es necesaria mucha más información para hacer una buena transición. Hay varios trabajos relativos a la especificación de la información que deben tenerse en cuenta al hacer una transición entre redes de diferentes tecnologías. [SJ05], [NW06] y [BL07] consideran cuestiones como la calidad de servicio (QoS) solicitada por el usuario, el tipo de aplicación que está siendo utilizada, el ancho de banda disponible y las condiciones actuales del enlace de cada tecnología. Por otro lado, [NH07] considera como el aspecto más importante a tener en cuenta el coste de la conexión de las redes.

Consecuentemente, cuando el usuario móvil se plantea hacer una transición entre dos redes de diferentes tecnologías debe tener presente información como calidad de servicio, seguridad, coste de la conexión, condiciones de la red y del dispositivo móvil, posicionamiento geográfico, administración de la energía, ancho de banda, preferencias e historial del usuario, etc. La Figura 4.1 muestra la información que el usuario móvil debe considerar al hacer transiciones verticales.

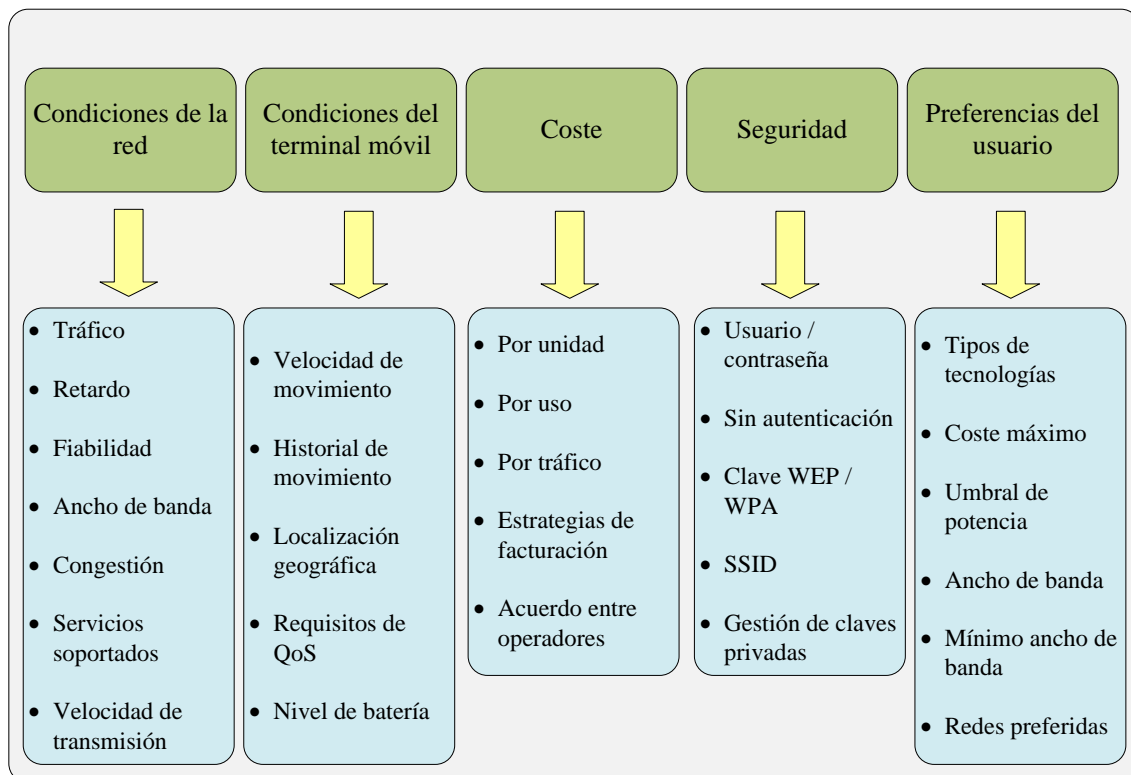


Figura 4.1: Información relevante en una transición entre redes heterogéneas

La mayoría de la información puede obtenerse a través de la escucha de las tramas

de aviso que generan los puntos de acceso de las redes inalámbricas como, por ejemplo, las tramas de aviso en las redes Wi-Fi. La información contenida en estos mensajes es bastante limitada (p.e. nombre del operador, tecnología del punto de acceso, nombre de la red, código del país, etc.). En las redes de nueva generación el usuario podrá contar con información detallada de las redes (p.e. ancho de banda disponible, coste de conexión, número de usuarios conectados simultáneamente, etc.).

De esta forma, si el usuario quiere obtener más información de las redes de acceso podrá consultar alguna entidad en la red (el servidor MIIS). La información que ofrece el servidor MIIS se conoce como servicio de movilidad o información de movilidad y la arquitectura o el conjunto de servidores MIIS se denomina **sistema de información de movilidad** [BSRCGV11].

El hecho de conocer qué redes existen en un área geográfica y cuáles son las características de los servicios ofertados (coste, ancho de banda, seguridad, velocidad de transmisión, etc.) permiten al usuario tomar una mejor decisión a la hora de realizar una transición. En un entorno donde existan múltiples redes inalámbricas y el usuario esté en constante movimiento, sería recomendable que pudiera continuamente buscar información de las redes en el servidor MIIS, independientemente de la tecnología de la interfaz de red y del operador.

## 4.2 Requisitos

La especificación del servidor de información y de un sistema de información de movilidad en un ambiente de redes heterogéneo, involucra tanto aspectos técnicos como comerciales. Imagínese un escenario con un servidor MIIS con información correspondiente a distintas redes de operadores diferentes. Un operador puede no estar interesado en difundir información de sus redes ya que si entre la información se encuentra el parámetro coste del servicio, el usuario móvil puede moverse a un operador con precios más competitivos. Si el servidor MIIS sólo distribuye información de redes y servicios de un único operador, el usuario móvil recibirá información incompleta de las redes de una determinada región geográfica. Consecuentemente, puede equivocarse en la transición. De ahí que el acceso a un servidor de información no deba limitarse a los usuarios de un único operador. Asimismo, un operador debería ofrecer información de otros operadores aunque éstos sean competidores. Se hace necesario, pues, la división de la información en categorías o clases de servicios, permitiendo al servidor MIIS divulgar información de uno o más operadores.

El acceso a la información del servidor MIIS por parte del usuario móvil debe hacerse fácilmente, ya que se habla de dispositivos móviles con poca capacidad de procesamiento, cantidad limitada de energía y escasa memoria. Con este objetivo el servidor MIIS tiene que ofrecer distintos métodos para obtener la información. Mecanismos como pregunta/respuesta, suscripción/notificación, *multicast* y *broadcast* pueden utilizarse por el servidor MIIS para difundir la información de movilidad. Esto hace que el servidor MIIS tenga que desarrollarse de un modo que permita a cualquier usuario, ubicado en cualquier red y que esté a cualquier distancia, obtener información que se utiliza en el proceso de transición entre redes. Todo lo anterior hace que el sistema de información de movilidad deba ser lo más flexible posible.

A continuación se incluye un listado de los requisitos que tiene que cumplir la especificación de un sistema de información de movilidad para que sea válida en escenarios con varias tecnologías de redes y diversos operadores. Este listado puede dividirse en 2 partes: requisitos para el despliegue de un servidor MIIS y requisitos para el despliegue de un sistema de información de movilidad (conjunto de servidores MIIS).

**Requisitos para el despliegue de un servidor MIIS:**

- Un servidor MIIS debe ser capaz de ofrecer información de movilidad de varias redes, independientemente de la tecnología y del operador.
- Un servidor MIIS debe permitir que el descubrimiento y la comunicación con el usuario pueda hacerse a través de los protocolos IPv4 e IPv6.
- Un servidor MIIS debe permitir que el usuario pueda comunicarse con el servidor MIIS, independientemente de su ubicación física dentro de la red.
- Un servidor MIIS debe permitir que la información pueda ser clasificada en clases de servicios. De esta forma, el servidor MIIS puede ofrecer una clase distinta de información a los diferentes tipos de usuarios.
- Un servidor MIIS debe permitir que el acceso a la información no se limite a los usuarios de la red local ni tampoco a un único operador.
- Un servidor MIIS debe ser escalable y permitir múltiples peticiones simultáneas por parte de los usuarios.

**Requisitos para el despliegue de un sistema de información de movilidad:**

- El sistema de información de movilidad debe proporcionar soporte a equipos ya existentes, de cara a facilitar un rápido despliegue de la solución.
- El sistema de información de movilidad debe proveer medios de autenticación en entornos con varios operadores.
- El sistema de información de movilidad debe permitir la comunicación y sincronización de información entre varios servidores MIIS.
- El sistema de información de movilidad debe minimizar la complejidad especificada inicialmente en el estándar, reducir la carga de procesamiento y la sobrecarga de señalización en los enlaces inalámbricos.
- El sistema de información de movilidad debe minimizar el tiempo de descubrimiento de redes en una determinada zona geográfica.
- El sistema de información de movilidad debe permitir la especificación de diferentes tipos de servidores MIIS con distintas características y funcionalidades.
- El sistema de información de movilidad debe ser flexible para atender escenarios con miles de usuarios, redes de acceso y operadores.
- Por último, el sistema de información de movilidad debe reducir el retardo en la transición entre redes.

En este trabajo se han agrupado los requisitos mencionados anteriormente en tres categorías, muy útiles a la hora de especificar e implementar un sistema de información de movilidad:

1. **Ubicación física del servidor MIIS:** definir su ubicación física dentro de la red [BGV08]. Esta característica está directamente relacionada con la arquitectura de red desplegada por el operador. La cobertura geográfica del operador y la cantidad de redes de acceso determinarán la cantidad y ubicación física de los servidores MIIS que debe haber en una determinada zona. Especificando la ubicación física del servidor MIIS dentro de la red quedan atendidos muchos de los mencionados requisitos.
2. **Información almacenada en el servidor MIIS:** el servidor MIIS puede almacenar información de múltiples redes y operadores. De qué manera esta información genérica se adapta a cada usuario y a las aplicaciones que se ejecutan en el mismo es un tema importante, ya que el exceso de información puede originar un uso abusivo de la red, y la escasez de la misma no da lugar a transiciones óptimas. Esto es particularmente importante para determinar la información que debe ofrecerse a cada usuario, teniendo en cuenta la limitada capacidad de procesamiento de los terminales móviles.
3. **Periodicidad del envío de información a los usuarios por parte del servidor MIIS:** no sólo es importante la información que se debe intercambiar, sino también cuándo y cómo. Aunque la información proporcionada por el servidor MIIS es de carácter más estático (en comparación con el servicio de eventos), que tenga información sobre la disponibilidad del servicio (información dinámica) puede inducir la necesidad de actualizar la información del MIIS de forma más acentuada. Por otra parte, si se envía información del servidor MIIS al usuario, y luego ésta se modifica en el servidor, los usuarios que previamente la solicitaron deben ser avisados de que su copia local de información no está actualizada. Además, es necesario determinar el mejor momento para enviar la información al usuario y adaptar la periodicidad del envío a la perspectiva actual del uso de la red. En resumen, es importante definir cuándo el usuario tiene que contactar al servidor MIIS para buscar información de las redes de acceso.

El objetivo de este trabajo es establecer las bases para la construcción, a gran escala, de un conjunto de servidores MIIS que ofrezca al usuario información detallada de las redes de acceso y facilite la transición en entornos heterogéneos.

### 4.3 Arquitectura Jerárquica de Servidores MIIS

La especificación de un sistema de información de movilidad depende de varios factores como la cantidad de redes de acceso y operadores en una determinada zona, el número de peticiones simultáneas de los usuarios móviles, etc. En un entorno móvil donde haya pocas redes, el despliegue de un sistema de información de movilidad con un único servidor MIIS puede que sea suficiente para atender a todos los usuarios. En cambio, en un entorno móvil donde haya múltiples operadores y numerosas redes de diferentes tecnologías, es posible que se necesite más de un servidor MIIS. Por tanto, el almacenamiento de información de redes puede estar en un servidor MIIS centralizado o distribuido en varios servidores de información. La ubicación física del usuario y del servidor MIIS puede producir además una gran variedad de escenarios.

En un primer análisis la especificación de un sistema de información de movilidad y administración de servidores MIIS en redes heterogéneas tiene una gran complejidad pues depende de muchas variables. El sistema de información de movilidad que se propone



en este trabajo considera la división de las redes de acceso en **zonas de movilidad**, clasificadas de una forma jerárquica y gestionadas por diferentes tipos de servidores MIIS. La arquitectura sostiene la idea de que existiendo múltiples redes de acceso y múltiples operadores ha de contemplarse una división jerárquica de la información existente, debido a la gran cantidad de información que puede tener una red de acceso de un operador y la combinación para un gran número de redes de acceso y diferentes operadores. La arquitectura jerárquica de servidores MIIS se ilustra en la Figura 4.2.

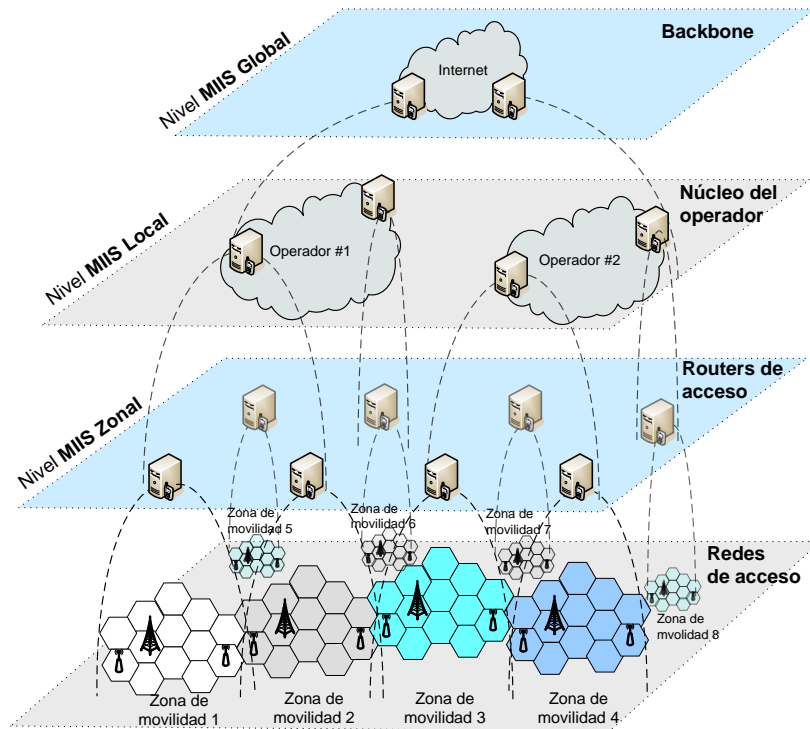


Figura 4.2: Arquitectura jerárquica de servidores MIIS

En orden ascendente, en el nivel 0 de la jerarquía están las zonas de movilidad definidas por la cantidad de redes de acceso existentes en una determinada zona geográfica. En los niveles 1, 2 y 3 de la jerarquía existen tres tipos de servidores MIIS: un **MIIS Zonal**, encargado de suministrar información detallada de los puntos de acceso en una zona determinada; un **MIIS Local**, que gestiona el intercambio de información entre distintas redes de diferentes zonas del mismo operador; y un **MIIS Global**, que actúa como un proxy, reenviando las solicitudes de información entre los servidores en escenarios con múltiples operadores.

La idea de dividir las redes de acceso en zonas de movilidad y que éstas sean administradas por diferentes servidores MIIS, permite que el usuario obtenga información de movilidad y haga mejores transiciones, tanto en lo que se refiere a la calidad como al retardo total de las mismas. Un punto importante en la gestión de información entre diferentes entidades en un ambiente de redes es el deseo de compartir la información por parte de las mismas. Si las entidades no cooperan entre sí de alguna forma, en ningún momento el usuario podrá tener una visión general de la información. Por ello, en este capítulo además de especificar tres tipos de servidores MIIS, también se especifica un modelo de acuerdo

de nivel de servicio donde los distintos tipos de servidores MIIS en los diferentes niveles de la jerarquía pueden compartir información de movilidad.

A través de esta visión jerárquica en 3 niveles de la estructura de la información de movilidad se puede lograr tanto la obtención de información detallada de una red de acceso de un operador como el intercambio de información entre zonas de diferentes operadores. La combinación de estos tres tipos de servidores de información permite atender cualquier tipo de ambiente, desde aquellos constituidos por un único operador con algunos puntos de acceso hasta ambientes que tengan cientos de operadores y miles de redes.

¿Por qué se ha elegido un sistema jerárquico de servidores MIIS? En general, el concepto de jerarquía designa una forma de organización de diversos elementos de un sistema, en el que cada uno es subordinado del elemento posicionado inmediatamente superior (con excepción, claro está, del primero que no está subordinado a ninguno de los demás). El concepto de jerarquía puede aplicarse a personas, animales o cosas, en orden ascendente o descendente, según criterios de poder, oficio, categoría, autoridad o cualquier otro que conduzca a un sistema de clasificación.

Diversos sistemas de comunicación y protocolos de redes utilizan una estructura jerárquica para la clasificación de la información. El primer y mejor ejemplo que tenemos es Internet, donde la comunicación entre el usuario y el servidor que almacena la información solicitada se realiza a través de una jerarquía de proveedores de servicio de Internet, donde cada uno tiene su propia autonomía en la administración de los servicios y recursos.

Según [RSB01], Internet puede ser modelada como un sistema jerárquico de tres niveles: redes institucionales, redes regionales y *backbones* nacionales. Por tanto, como se ilustra en la Figura 4.3, los usuarios o clientes están conectados a las redes institucionales; las redes institucionales están conectadas a las redes regionales y éstas están conectadas a las redes nacionales que, a su vez, también se conectan con otras redes nacionales a través de enlaces internacionales (que a veces son transoceánicos). Esto quiere decir que los nodos y las redes se interconectan siguiendo un orden jerarquizado.

Aunque la estructura de Internet puede ser considerada como una estructura jerárquica de tres niveles, conviene reseñar que en un enlace entre una red institucional y una red regional o en un enlace entre una red regional y una red nacional puede haber decenas o cientos de enlaces y *routers*, es decir, puede haber varios saltos entre el origen y el destino de la comunicación.

Otro sistema que utiliza la jerarquía para optimizar la comunicación entre dos entidades es el protocolo de movilidad HMIPv6 [SCMB08]. Este protocolo es una extensión del conocido protocolo de movilidad IP Móvil [PRP02] y ha sido desarrollado para reducir el tiempo de transición respecto al protocolo original.

Es lógico, por tanto, que el sistema de información de movilidad propuesto se base en una clasificación jerárquica de la información de movilidad. Esto permite que el usuario tenga la información disponible en una entidad más cercana, reduciendo el retardo en la obtención de la información y mejorando así la movilidad y la transición entre redes.

En el siguiente capítulo se describen los tipos de servidores MIIS así como sus elementos de información, características y ubicación física dentro de la red. Además, se muestra la señalización y el intercambio de mensajes que existe entre un usuario móvil y un servidor de información MIIS en el proceso de obtención de información de movilidad.

Como se ha comentado anteriormente, el usuario puede obtener la información del servidor MIIS enviando el mensaje *MIH Get Information request* y recibiendo el mensaje *MIH Get Information response*. En la literatura no hay consenso sobre el momento idóneo para enviar el mensaje de solicitud al servidor MIIS. Hay dos opciones posibles: enviar el mensaje cuando se detecte una nueva red de acceso a través del evento *MIH Link*

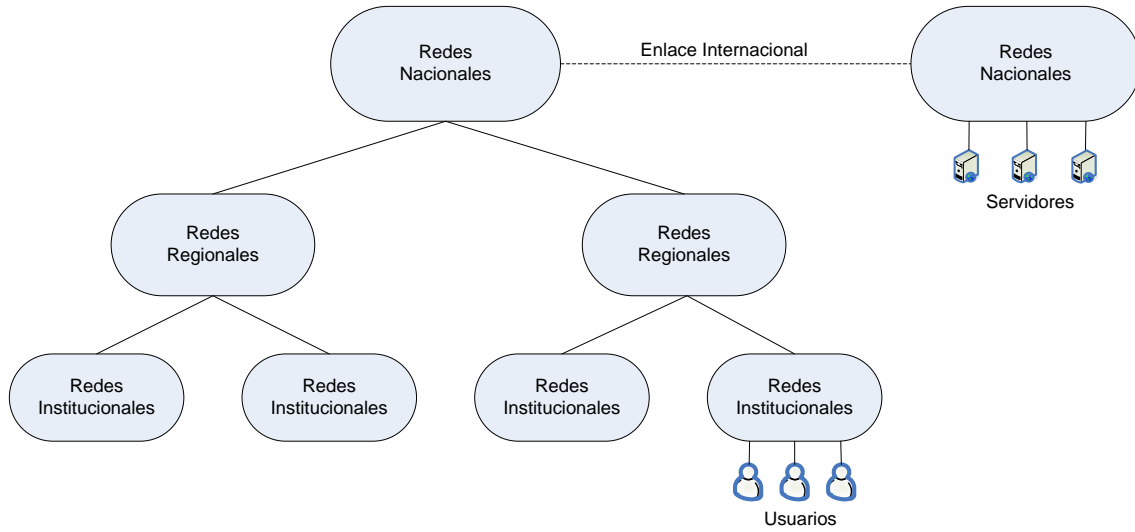


Figura 4.3: Arquitectura jerárquica de Internet

*Detected*, o cuando la potencia de la señal se atenúa y el usuario está a punto de perder la conexión disparando un evento *MIH Link Going Down*. El problema de utilizar el primer método es que las interfaces deben estar activas para la realización del barrido de redes, lo que consume mucha energía del dispositivo móvil. La segunda alternativa también presenta problemas ya que el usuario puede no tener tiempo suficiente para esperar a que el mensaje de respuesta llegue debido al movimiento del usuario o bien que la respuesta llegue cuando las condiciones se hayan deteriorado más allá del punto límite. Determinar cuándo es el momento más oportuno para enviar la solicitud de información al servidor MIIS está fuera del alcance de este trabajo, que está enfocado más bien a la evaluación del impacto que el mensaje de respuesta de las consultas tiene en el proceso de transición.

En este trabajo se ha optado por el primer método (enviar el mensaje de consulta al servidor MIIS). Una vez que el usuario detecta una nueva red, se envía el mensaje *MIH Get Information request* al servidor MIIS para obtener más información del punto de acceso detectado.

## 4.4 Modelo Conceptual

En este apartado se define el modelo conceptual del sistema de información de movilidad. Se pretende dar una definición del modelo que sea lo más genérica posible para que el sistema pueda ser utilizado en diferentes escenarios de movilidad.

Como se puede ver en la Figura 4.4, el sistema de información de movilidad está dividido en tres niveles. En primer lugar, se definen  $k$  zonas de movilidad  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ), siendo  $i$  el identificador de una zona de movilidad en una determinada área geográfica. En este primer nivel se establecen  $l$  servidores MIIS Zonal  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ ). En el segundo nivel se especifican  $m$  servidores MIIS Local  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). Por último, en el tercer nivel se especifican  $n$  servidores MIIS Global  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Una pregunta habitual cuando se habla de una estructura jerárquica de información, es la relativa a la cantidad de servidores que debe tener la jerarquía y qué información debe estar presente en los diferentes niveles de la estructura. Respecto al número de puntos de

acceso, zonas de movilidad y servidores MIIS por operador, el MIIS Zonal puede controlar y almacenar información de  $k$  PoA  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ). El MIIS Local puede gestionar  $l$  MIIS Zonal  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ ). El MIIS Global puede gestionar  $m$  MIIS Local  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). Conviene reseñar que se ha especificado un único servidor MIIS Global por operador y no  $m$  servidores como en los niveles inferiores. Este servidor tiene el rol de representar al operador en la comunicación con el servidor MIIS Global de cada operador. Por tanto, toda la parte de inteligencia y acuerdos de servicios que deben existir entre dos o más operadores se hacen únicamente en el servidor MIIS Global, no sobrecargando los servidores MIIS de los niveles inferiores cuando dos operadores no tienen ningún tipo de acuerdo de servicio.

Los usuarios están conectados a los puntos de acceso y, éstos, a su vez, están conectados a los servidores MIIS Zonal. Los servidores MIIS Zonal están conectados y se comunican con los servidores MIIS Local que, a su vez, están conectados con el servidor MIIS Global. Por último, el servidor MIIS Global del operador se comunica con otros servidores MIIS Global a través de un *backbone* común o a través de Internet.

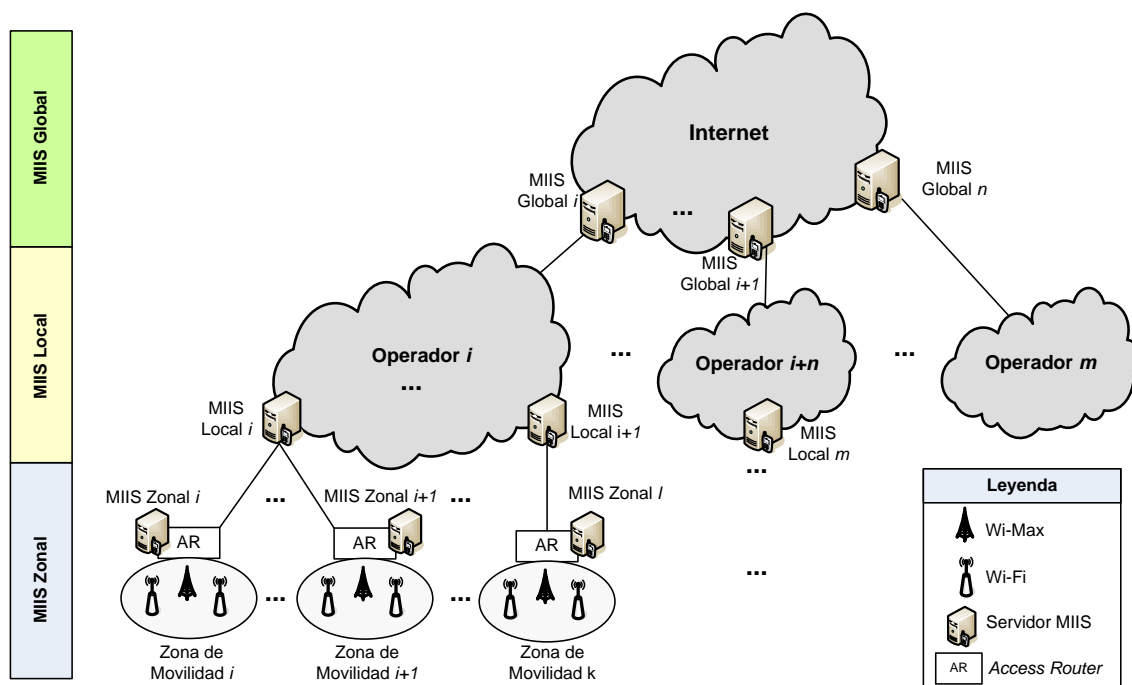


Figura 4.4: Modelo conceptual del sistema de movilidad

## 4.5 Servidor MIIS Zonal

Un servidor MIIS Zonal es un servidor MIIS que tiene almacenado toda la información de movilidad de las redes y de los puntos de acceso de una determinada zona o región de un operador. La división de las redes de acceso en zonas o regiones se debe al hecho de que un operador normalmente tiene cobertura en toda una ciudad o en todo un país, siendo demasiada información para ser administrada por un único servidor MIIS. De esta forma, un servidor MIIS Zonal puede administrar varias redes de acceso de diferentes tecnologías y un operador puede tener varios servidores MIIS Zonal donde los usuarios móviles pueden

acceder a la información. El algoritmo de funcionamiento de cómo el usuario obtiene la información del servidor MIIS Zonal se ilustra en la Figura 4.5.

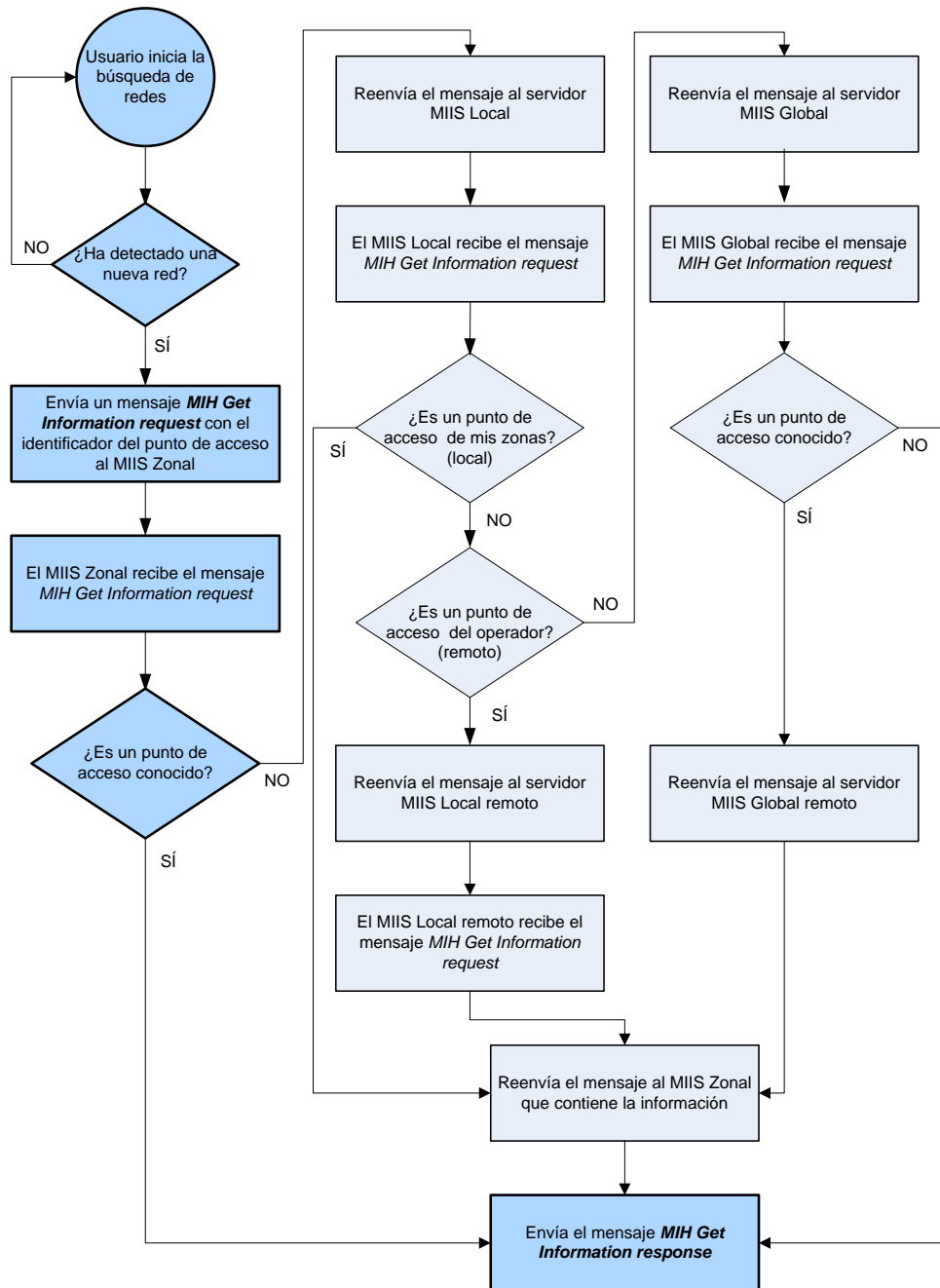


Figura 4.5: Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Zonal

Utilizando el servidor MIIS Zonal, el usuario puede llevar a cabo una transición entre dos redes perteneciendo ambas al mismo operador y siendo administradas por un servidor MIIS Zonal común.

En primer lugar, el usuario inicia la búsqueda de nuevas redes a través del método de barrido. Si hay alguna red en la vecindad, el usuario recibe un mensaje (un evento *MIH Link Detected*) de la capa inferior del protocolo, lo que significa que se ha detectado una

nueva red. Tras recibir este mensaje, el usuario envía un mensaje *MIH Get Information request* con el identificador del punto de acceso detectado (PoA\_ID, del inglés *Point of Attachment Identification*) al servidor MIIS Zonal con el objetivo de obtener más información del mismo, ya que la detección de una red sea por exploración activa o pasiva no ofrece mucha información al usuario. Al recibir la solicitud, el servidor MIIS Zonal comprueba si el punto de acceso detectado está registrado en su base de datos y, si es el caso, envía un mensaje *MIH Get Information response* con información detallada del punto de acceso al usuario. Si el punto de acceso no está registrado o pertenece a otra zona, el servidor MIIS Zonal reenvía la solicitud al servidor MIIS inmediatamente superior en la jerarquía.

Conviene señalar que la gran mayoría de los puntos de acceso Wi-Fi no son administrados por los operadores habituales y no están registrados en ningún servidor MIIS; son administrados por pequeños locales comerciales (por ejemplo, restaurantes, cafeterías, etc.) y por empresas (por ejemplo, Starbucks, McDonald's, EMT Madrid, etc.). Así, si se detecta uno de estos puntos de acceso y se envía la petición de información al servidor MIIS Zonal, el usuario no recibe información adicional del mismo por no estar registrado en el servidor MIIS. Asimismo, en los últimos años diversos operadores de telecomunicaciones detectaron un gran incremento en el uso de la tecnología 3G, que tiene limitadas prestaciones (velocidad de conexión, ancho de banda y cobertura). Para reducir la sobrecarga de estas redes y ofrecer más calidad de servicio al usuario, los operadores están trabajando con comunidades de redes Wi-Fi, donde el usuario puede hacer la transición entre las dos tecnologías de forma automática. Un ejemplo de este tipo de cooperación son las redes BT-FON (British Telecom y Fon España, <http://www.fon.com>). En un acuerdo entre estas dos compañías, la operadora BT ofrece a sus clientes más de 2 millones de puntos de acceso FON Wi-Fi en todo el Reino Unido pudiendo el usuario desplazarse de la red 3G hacia la red Wi-Fi de forma automática y transparente. La tendencia actual es que el número de puntos de acceso Wi-Fi gestionados por operadores siga aumentando de forma importante en los próximos años. Así, cada vez habrá más puntos de accesos Wi-Fi registrados en algún servidor MIIS, lo que beneficiará la experiencia móvil del usuario.

En la Figura 4.6 se puede ver un escenario con varios servidores de información MIIS Zonal que gestionan diferentes zonas de movilidad en un entorno con múltiples operadores. En su desplazamiento el usuario utiliza el servidor MIIS Zonal en la tarea de descubrimiento de las redes vecinas y hace una transición intra-zonal, es decir, se mueve a la cobertura de un punto de acceso perteneciente a la misma zona de movilidad.

En este escenario tenemos dos operadores. Cada operador tiene un servidor MIIS Global, dos servidores MIIS Local y tres servidores MIIS Zonal. Describiendo los elementos de la figura en orden ascendente, los puntos de acceso están divididos en seis zonas de movilidad. Cada una de ellas es administrada por un MIIS Zonal diferente. En el operador 1 el servidor MIIS Local 1 controla el servidor MIIS Zonal 1 y el servidor MIIS Zonal 2, y el servidor MIIS Local 2 controla el servidor MIIS Zonal 3. En el operador 2 el servidor MIIS Local 3 controla los servidores MIIS Zonal 4 y MIIS Zonal 5, y el servidor MIIS Local 4 controla el servidor MIIS Zonal 6. En el nivel superior de la jerarquía está el servidor MIIS Global 1 que se comunica con el MIIS Global 2 y permite que el usuario haga una transición entre el Operador 1 y el Operador 2 y viceversa.

Como se ha comentado anteriormente, tres son los requisitos para el despliegue de un servidor MIIS. Para el servidor MIIS Zonal tenemos las siguientes características:

- **Ubicación física del servidor MIIS Zonal:** el servidor MIIS Zonal estaría ubicado físicamente en el primer *router* después del punto de acceso al que está conectado el usuario de forma inalámbrica. Este *router* también se denomina AR (*Access Router*). Comúnmente, el usuario está a dos o tres saltos de distancia del servidor MIIS

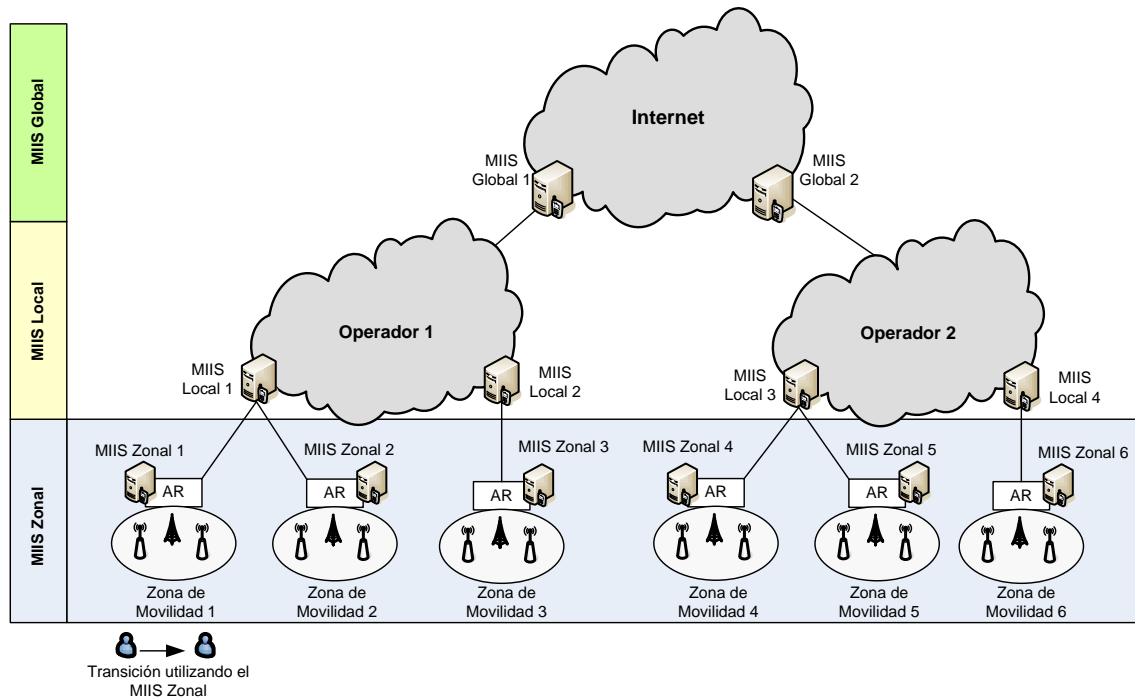


Figura 4.6: Ubicación física del servidor MIIS Zonal

Zonal, lo que le permite tener una rápida respuesta a su solicitud de información de movilidad. Consecuentemente, el servidor MIIS Zonal es el servidor más cercano al usuario móvil. Mientras más veces el usuario pueda utilizar este servidor para obtener información, independientemente de su posición geográfica, mucho mejor.

- **Información almacenada en el servidor MIIS Zonal:** dado que un servidor MIIS Zonal tiene un control total de la información de las redes y de los puntos de acceso de su zona, en este tipo de servidor los usuarios móviles tienen acceso a toda la información de los puntos de acceso no existiendo ninguna restricción relativa a la información de las redes del operador. Así, el usuario puede saber a través de un mensaje *MIH Get Information request*, información como QoS, coste del servicio, seguridad, velocidad de transmisión, localización geográfica de los PoA, etc. El MIIS Zonal es el único servidor de información que almacena toda la información posible de un punto de acceso.
- **Periodicidad del envío de la información a los usuarios por parte del servidor MIIS:** la información del servidor MIIS Zonal sólo se envía cuando el usuario envía un mensaje *MIH Get Information request* con un identificador del punto de acceso detectado.

#### 4.5.1 Elementos de Información

El servidor de información MIIS Zonal tiene información detallada de todos los puntos de acceso de una determinada zona. En la Figura 4.7 se indican los elementos de información que puede contener un servidor de información MIIS Zonal.



Elementos de Información		
Servidor MIIS Zonal	Servidor MIIS Local	Servidor MIIS Global
Información General	Información General	Información General
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Información de la Red	Información de la Red	Información de la Red
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
	Información del Punto de Acceso	Información del Punto de Acceso
	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =
Información del Punto de Acceso		
IE_POA_ID = IE_ZONE_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =		

Figura 4.7: Elementos de Información de un Servidor MIIS Zonal

En *Información General* el servidor MIIS Zonal almacena información general del operador como el nombre, el identificador, el código del país, etc. En *Información de la Red* se almacena la información de las tecnologías de red presentes en el operador así como información del coste de uso, calidad de servicio, acuerdos de *roaming*, protocolos de movilidad soportados, etc. Por último, el grupo *Información del Punto de Acceso* contiene información relativa a un punto de acceso específico como su dirección IP, canales de transmisión, localización geográfica, etc. En el sistema de información de movilidad propuesto se ha creado un elemento de información, el *IE\_Zone\_ID*, relativo a la zona de movilidad del punto de acceso. Todos estos elementos de información se refieren a un operador, a sus redes y a sus puntos de acceso. En el caso de que un operador tenga más de una tecnología de red y más de un punto de acceso, habrá varios grupos de información.

Conviene diferenciar el concepto de red del de punto de acceso. Varios puntos de acceso pueden constituir una única red. Por ejemplo, un operador o una empresa prestadora de servicios de red implementa una red inalámbrica en un aeropuerto con decenas de puntos de acceso y todos llevan el mismo nombre. Hay, por tanto, una única red y varios puntos de acceso.

#### 4.5.2 Señalización

La Figura 4.8 muestra la señalización que existe entre el usuario móvil y el servidor MIIS Zonal cuando el usuario está haciendo una transición dentro de la misma zona, es decir, entre dos puntos de acceso administrados por el mismo servidor MIIS Zonal.

Como ya se ha comentado anteriormente, cuando el usuario quiere obtener más información de un determinado punto de acceso, se envía un mensaje *MIH Get Information request* con el identificador del punto de acceso detectado al MIIS Zonal de su zona. Al recibir la solicitud del usuario, el servidor MIIS Zonal comprueba si el punto de acceso detectado está registrado en su base de datos. Si lo está, envía el mensaje de respuesta



*MIH Get Information response* con información detallada del punto de acceso al usuario. Si el punto de acceso detectado pertenece a la misma zona a la que está ubicado el usuario, el servidor MIIS Zonal contestará con información detallada del mismo. Una gran ventaja que presenta este sistema de información de movilidad frente a propuestas existentes es que, además de enviar la respuesta al usuario con información del punto de acceso detectado, el servidor MIIS Zonal también envía la información de todas las redes y puntos de acceso de una determinada zona. Así, el usuario no necesita enviar más solicitudes al servidor MIIS en el caso de que detecte más redes de acceso en la misma zona.

La comunicación entre el usuario y el servidor MIIS Zonal se resume en 4 mensajes. El primer mensaje, el *MIH Get Information request* con el identificador del PoA detectado (PoA\_ID), se envía cuando el usuario detecta una nueva red. Este mensaje se envía al punto de acceso al que está conectado el usuario. El punto de acceso reenvía el mensaje al servidor MIIS Zonal (renombrándolo como *MIH Get Information indication*). El MIIS Zonal recibe el mensaje y responde al punto de acceso a través del mensaje *MIH Get Information response*. Este mensaje se reenvía al usuario final como *MIH Get Information confirm*.

El despliegue de uno o más servidores de información MIIS Zonal presenta importantes ventajas para el usuario. La primera es que el usuario sólo recibe información relativa a su zona de movilidad, disminuyendo el tamaño del mensaje *MIH Get Information response*. Como el mensaje de respuesta contiene información de los puntos de acceso de la zona, el usuario no tiene que enviar nuevamente la solicitud al servidor MIIS cuando detecta nuevas redes pertenecientes a la misma zona. La otra ventaja es que como el servidor MIIS Zonal está ubicado físicamente dentro del operador, el usuario tiene acceso directo a la información, disminuyendo el retardo en el descubrimiento de redes vecinas y en la obtención de información de las mismas.

Por último, una característica bastante interesante y útil del servidor MIIS Zonal, es que se puede enviar al usuario la información general de varias redes de una determinada zona cuando éste se conecta por primera vez a la red. Así, teniendo conocimiento de qué redes están disponibles en una zona geográfica, el usuario puede apagar las interfaces que no se utilizarán, ahorrando energía y optimizando su funcionamiento.

## 4.6 Servidor MIIS Local

El servidor MIIS Local es un servidor MIIS que administra el intercambio de información entre diversos servidores MIIS Zonal pertenecientes a un mismo operador. El MIIS Local no almacena información detallada de las redes de acceso de un operador; únicamente mantiene un listado de los servidores MIIS Zonal y sabe perfectamente donde están las redes de acceso basándose en los identificadores de las mismas, actuando como *proxy*. De esta forma, un servidor MIIS Local gestiona la comunicación entre varios servidores MIIS Zonal.

Cuando un usuario móvil desea tener más información de un punto de acceso, envía una solicitud directamente a su MIIS Zonal. El MIIS Zonal consulta en su base de datos si el punto de acceso detectado (PoA\_ID) está registrado. Si la consulta está relacionada con algún punto de acceso que está fuera de su zona, es decir, no lo tiene registrado en la base de datos, el MIIS Zonal reenvía la petición al servidor MIIS que está en el nivel superior de la jerarquía, que es el MIIS Local.

Este servidor mantiene un listado de todos los puntos de acceso de la red y sus respectivas zonas de movilidad. Una vez que el MIIS Local recibe la petición del servidor MIIS Zonal, puede realizar tres acciones diferentes:

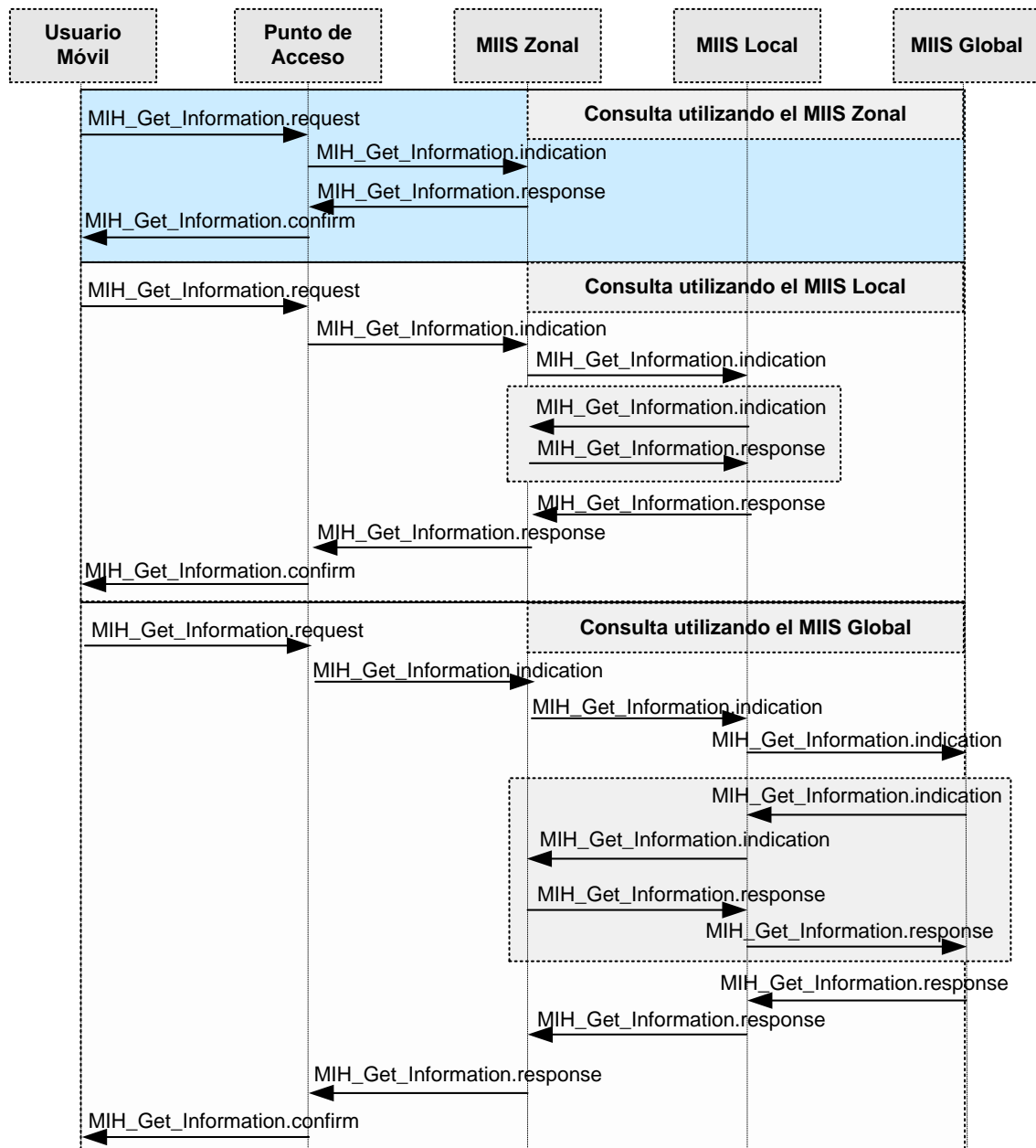


Figura 4.8: Comunicación entre el usuario y el MIIS Zonal

1. **Responder (localmente):** el MIIS Local responde (localmente) cuando el punto de acceso detectado pertenece a una de sus zonas de movilidad.
2. **Encaminar a un MIIS Local (remoto):** el MIIS Local verifica en su tabla si el PoA\_ID pertenece a su operador. Si es el caso, el MIIS Local contacta al MIIS Local remoto que sabe a qué MIIS Zonal encaminar la petición. El MIIS Zonal contesta al usuario con información detallada de la red solicitada.
3. **Encaminar al MIIS Global:** el MIIS Local toma otra acción en el caso de que el PoA\_ID no pertenezca al mismo operador, encaminando la petición al MIIS Global

del operador.

El algoritmo que describe cómo el usuario obtiene la información del servidor MIIS Local se ilustra en la Figura 4.9. Utilizando el servidor MIIS Local el usuario puede llevar a cabo una transición entre dos redes, perteneciendo ambas al mismo operador y siendo administradas por diferentes servidores MIIS Zonal.

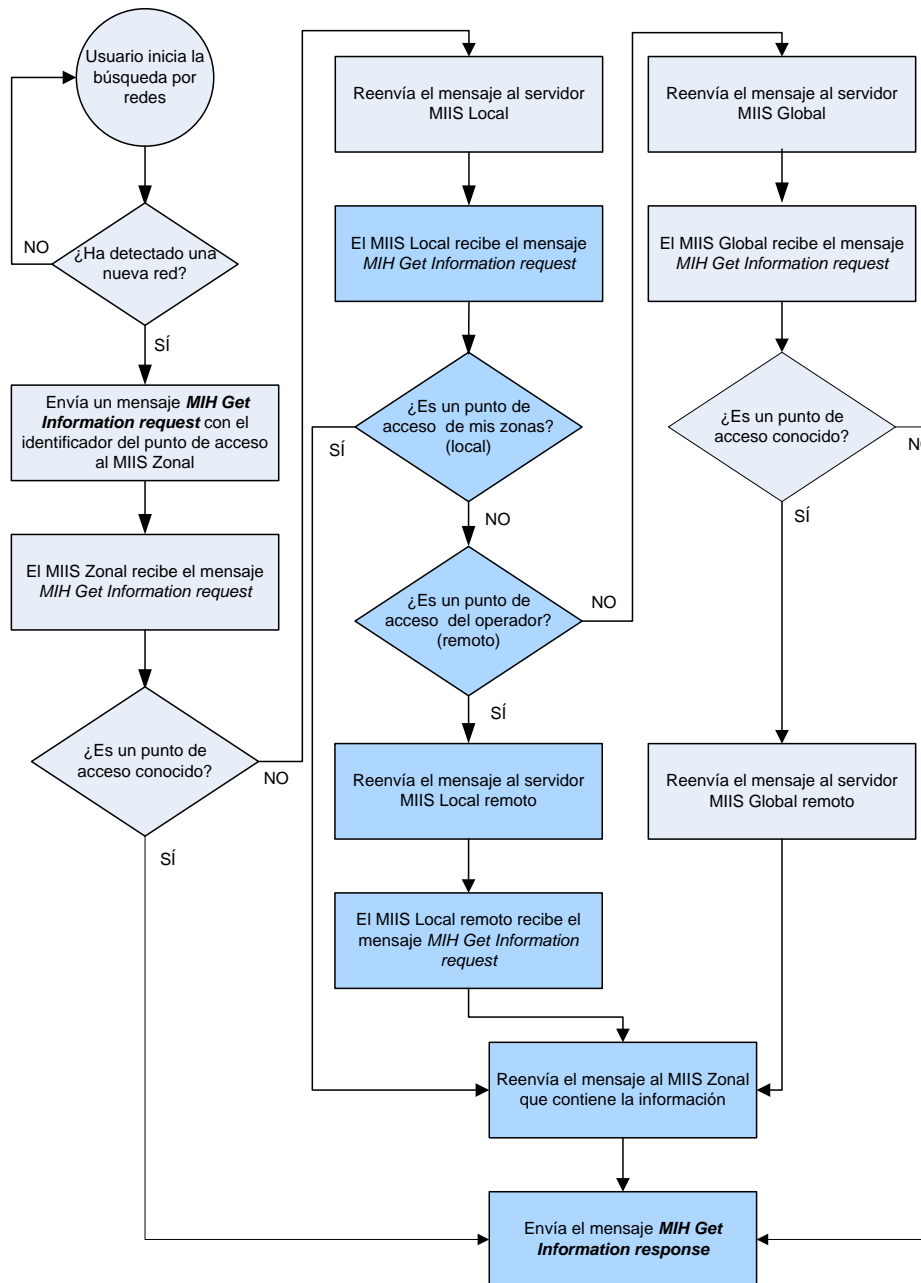


Figura 4.9: Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Local

En la Figura 4.10 se muestra un escenario con dos servidores de información MIIS Local que gestionan diferentes zonas de movilidad en un entorno con múltiples operadores. En este escenario el usuario hace dos transiciones utilizando el MIIS Local. En la primera

transición el usuario se desplaza de la Zona 1 a la Zona 2, zonas que son gestionadas por el mismo MIIS Local. En este caso, el MIIS Local contesta localmente a la petición del usuario. En la segunda transición el usuario se desplaza de la Zona 2 a la Zona 3, zonas que son gestionadas por diferentes servidores MIIS Local. En este caso el MIIS Local 1 encamina la petición al MIIS Local 2, siendo una respuesta remota ya que proviene de otro MIIS Local.

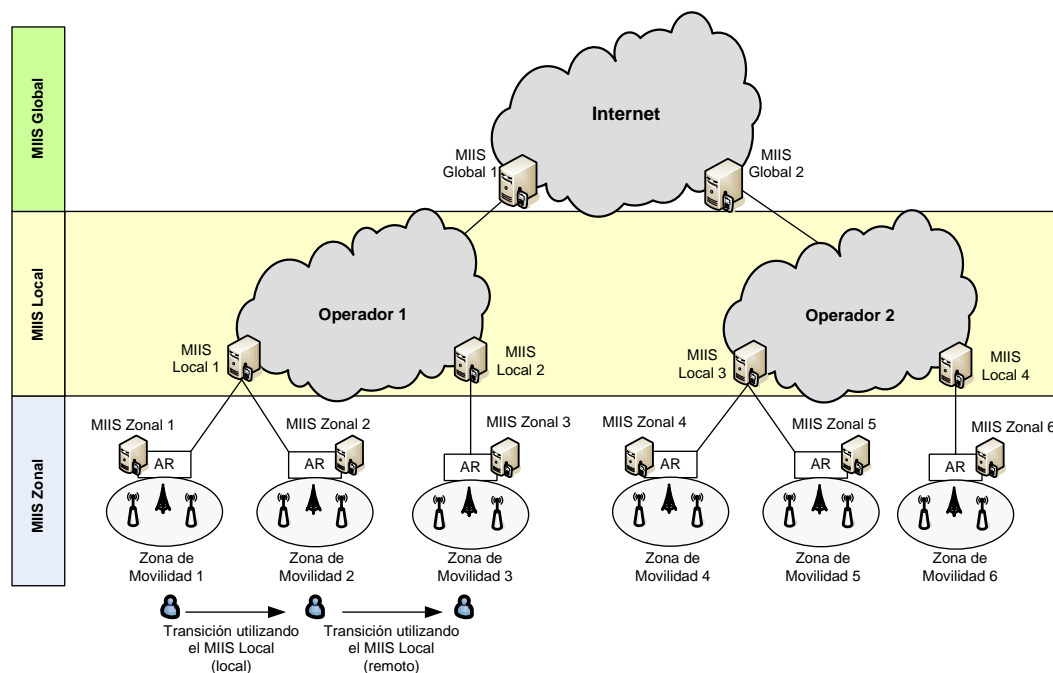


Figura 4.10: Ubicación física del servidor MIIS Local

La determinación del número ideal de servidores MIIS Local que un operador debe tener depende de una gran cantidad de variables como número de usuarios en cada zona de movilidad, número de puntos de acceso, extensión geográfica del operador, etc. Es decir, la especificación de un número de servidores MIIS Local depende exclusivamente de la arquitectura de red implementada por el operador. Lo importante aquí es la especificación funcional de los diferentes tipos de servidores MIIS.

Como se ha comentado anteriormente, tres son los requisitos para el despliegue de un servidor de información. Para el servidor MIIS Local tenemos las siguientes características:

- **Ubicación física del servidor MIIS Local:** el servidor MIIS Local está ubicado físicamente en el núcleo de la red del operador, permitiendo el acceso a la información a usuarios ubicados en las diferentes zonas de movilidad del operador. Comúnmente, el usuario móvil está de tres a seis saltos de distancia del servidor MIIS Local.
- **Información almacenada en el servidor MIIS:** el servidor MIIS Local no almacena información detallada de las redes, únicamente un listado con los identificadores de las redes y a qué zona corresponde cada una de ellas.
- **Periodicidad del envío de la información a los usuarios por parte del servidor MIIS:** la información almacenada en el servidor MIIS Local sólo se utiliza

cuando un usuario móvil quiere obtener más información de un punto de acceso que no está en su zona de movilidad.

#### 4.6.1 Elementos de Información

El servidor de información MIIS Local almacena menos información que el servidor MIIS Zonal al tratarse de un servidor que actúa como proxy. En la Figura 4.11 se indican los elementos de información que puede contener un servidor de información MIIS Local.

Elementos de Información		
Servidor MIIS Zonal	Servidor MIIS Local	Servidor MIIS Global
Información General	Información General	Información General
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Información de la Red	Información de la Red	Información de la Red
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
	Información del Punto de Acceso	Información del Punto de Acceso
	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =
Información del Punto de Acceso		
IE_POA_ID = IE_ZONE_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =		

Figura 4.11: Elementos de Información de un servidor MIIS Local

En *Información General* el servidor MIIS Local almacena información del operador como su nombre, su identificador, el código del país, etc. En *Información de la Red* se almacena únicamente el identificador de la red. Por último, el grupo *Información del Punto de Acceso* contiene el identificador del punto de acceso IE\_PoA\_ID y el identificador de la zona IE\_Zone\_ID que sirve para que el servidor MIIS Local encamine la consulta de información al MIIS Local remoto apropiado, que se la enviará al servidor MIIS Zonal que contiene información detallada del punto de acceso detectado por el usuario móvil.

#### 4.6.2 Señalización

Solamente hay comunicación entre el usuario y el servidor MIIS Local cuando el usuario detecta un punto de acceso que no pertenece a su zona de movilidad. La Figura 4.12 muestra la comunicación que debe existir entre el usuario móvil y el servidor MIIS Local cuando el usuario está haciendo una transición entre distintas zonas de movilidad, es decir, entre dos puntos de acceso administrados por dos servidores MIIS Zonal distintos, gestionados o no por el mismo servidor MIIS Local.

En la comunicación entre el usuario y el servidor MIIS Local, el primer mensaje, el *MIH Get Information request*, se envía cuando el usuario detecta una nueva red. Este mensaje se envía al punto de acceso al que está conectado el usuario. El punto de acceso reenvía el

mensaje al servidor MIIS Zonal (renombrándolo como *MIH Get Information indication*). Por su parte, este último lo reenvía al servidor MIIS Local que sabe a quien corresponde la solicitud reenviándolo al servidor MIIS Zonal que contiene la información del punto de acceso detectado o al servidor MIIS Local remoto. El MIIS Zonal que almacena la información solicitada por el usuario responde enviando el mensaje *MIH Get Information response*, que hace el camino inverso pasando por el servidor MIIS Local, servidor MIIS Zonal, punto de acceso y llegando al usuario final como *MIH Get Information confirm*.

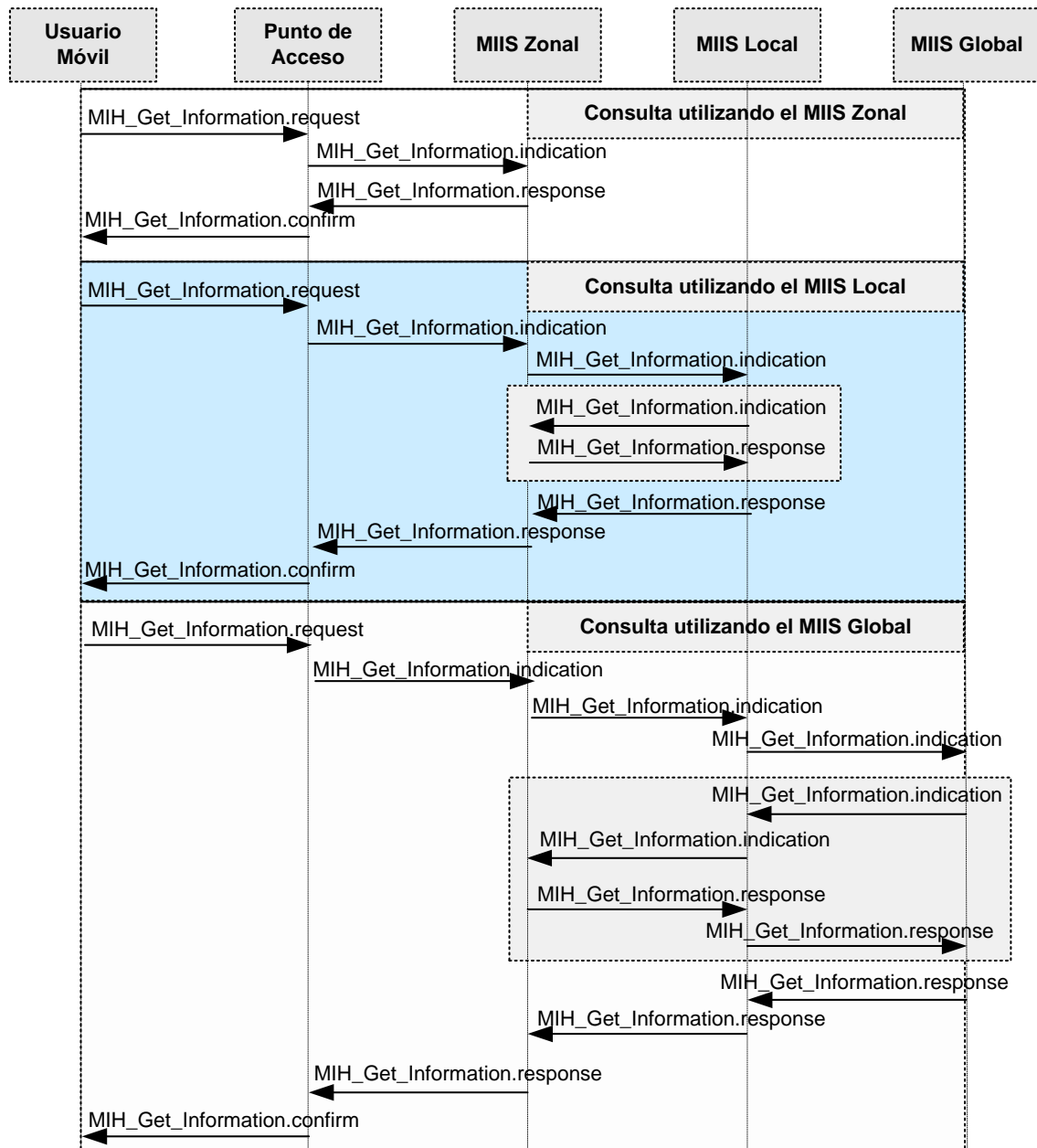


Figura 4.12: Comunicación entre el usuario y el MIIS Local

La utilización de un MIIS Local presenta tres grandes ventajas al usuario: la primera es que el servidor MIIS Local tiene una visión general de todas las zonas y redes de acceso

de un operador, por lo que sabe dónde tiene que reenviar la solicitud de información del usuario. Otra ventaja es que al intercambiar información entre diferentes zonas, el servidor puede ofrecer más posibilidades de transición al usuario móvil. La tercera ventaja es que el MIIS Local está habilitado para utilizar mecanismos de optimización (como caché), lo que reduce el intercambio de mensajes en el *backbone* del operador.

## 4.7 Servidor MIIS Global

El último tipo de servidor MIIS se utiliza en ambientes con múltiples operadores. Su principal función es intercambiar información entre diferentes operadores y permitir que el usuario haga transiciones entre dos o más operadores. En este escenario se deben hacer dos consideraciones: para que haya intercambio de información entre dos operadores, lo primero que debe hacerse es determinar y especificar qué información puede intercambiar cada servidor MIIS y cuál no. En segundo lugar, en ambientes de múltiples operadores debe existir un acuerdo de nivel de servicio, también conocido como SLA (*Service Level Agreement*). En los últimos años se ha notado un gran crecimiento en el número de trabajos, proyectos y propuestas de estandarización [3GP04] [HJM04] [BS05] [FTLA08] [MRG11] que mencionan que en un futuro no muy lejano los operadores de telecomunicaciones no sólo compartirán infraestructura de redes, sino también servicios e información relativa a movilidad.

La información que puede intercambiarse en escenarios con varios operadores es un aspecto crucial del servidor MIIS Global, ya que restringiendo información el usuario puede no recibir información detallada de las redes de acceso en una determinada zona, dejando así de hacer una buena transición. La principal ventaja del uso de este tipo de servidores MIIS es que ofrecen una completa y robusta visión de todas las redes de acceso pertenecientes a varios operadores sin almacenar ninguna información confidencial en un punto central de la red.

El algoritmo que describe cómo el usuario obtiene la información del servidor MIIS Global se ilustra en la Figura 4.13. Así, cuando el usuario móvil envía una solicitud de información, contacta directamente a su MIIS Zonal. En este caso, como la petición está relacionada con alguna red perteneciente a una zona de otro operador, el MIIS Zonal reenvía la petición al servidor MIIS Local que la reenvía, a su vez, al MIIS Global. El MIIS Global del usuario envía la solicitud al MIIS Global del otro operador, que verifica si es un punto de acceso conocido y, si es así, el MIIS Global remoto contacta al MIIS Zonal de la red solicitada, obteniendo la información deseada por el usuario. Si el MIIS Global del usuario verifica que el punto de acceso detectado no pertenece a ningún operador, envía un mensaje de respuesta al usuario con contenido vacío.

En la Figura 4.14 se muestra un escenario con un servidor MIIS Global que gestiona la comunicación entre diferentes zonas de movilidad en un entorno con múltiples operadores. Puede observarse que el servidor MIIS Global está ubicado en Internet o en algún *backbone* común de los operadores. Su principal rol es actuar como intermediario en la comunicación de dos o más operadores y permitir que el usuario móvil tenga una visión general de las redes en una determinada zona, aunque los puntos de acceso sean de operadores diferentes.

Como se ha comentado, tres son los requisitos para el despliegue de un servidor de información. Para el servidor MIIS Global tenemos las siguientes características:

- **Ubicación física del servidor MIIS Global:** el servidor MIIS Global está ubicado físicamente en Internet o en algún *backbone* común de dos o más operadores. Comúnmente, el usuario móvil está de cuatro a diez saltos de distancia del servidor MIIS Global.

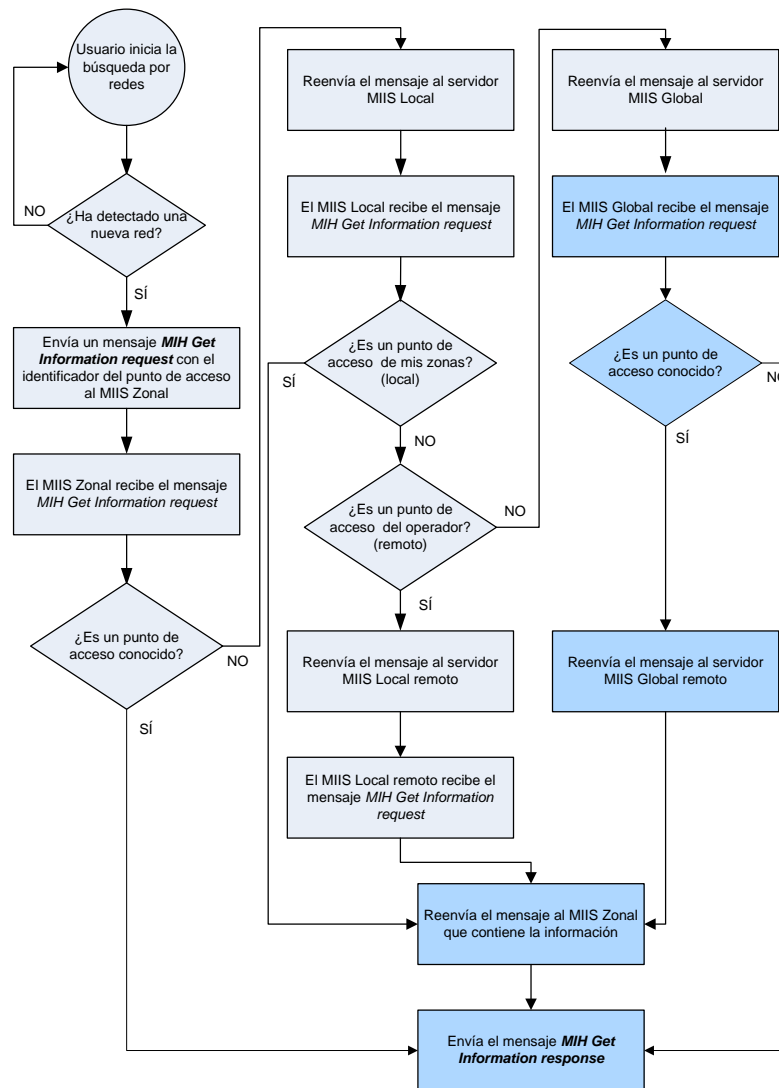


Figura 4.13: Algoritmo de funcionamiento del servidor MIIS Global

- **Información almacenada en el servidor MIIS:** dado que un servidor MIIS Global no almacena información detallada de las redes, en este tipo de servidor se almacena básicamente el identificador de las redes, la zona a la que pertenece cada punto de acceso y si la red del usuario tiene algún acuerdo de *roaming* con otros operadores.
- **Periodicidad del envío de la información a los usuarios por parte del servidor MIIS:** la información almacenada en el servidor MIIS Global sólo se utiliza cuando un usuario quiere tener más información de un punto de acceso ubicado en una zona de otro operador.

#### 4.7.1 Elementos de Información

En la Figura 4.15 se indican los elementos de información que puede contener un servidor de información MIIS Global. El servidor de información MIIS Global almacena



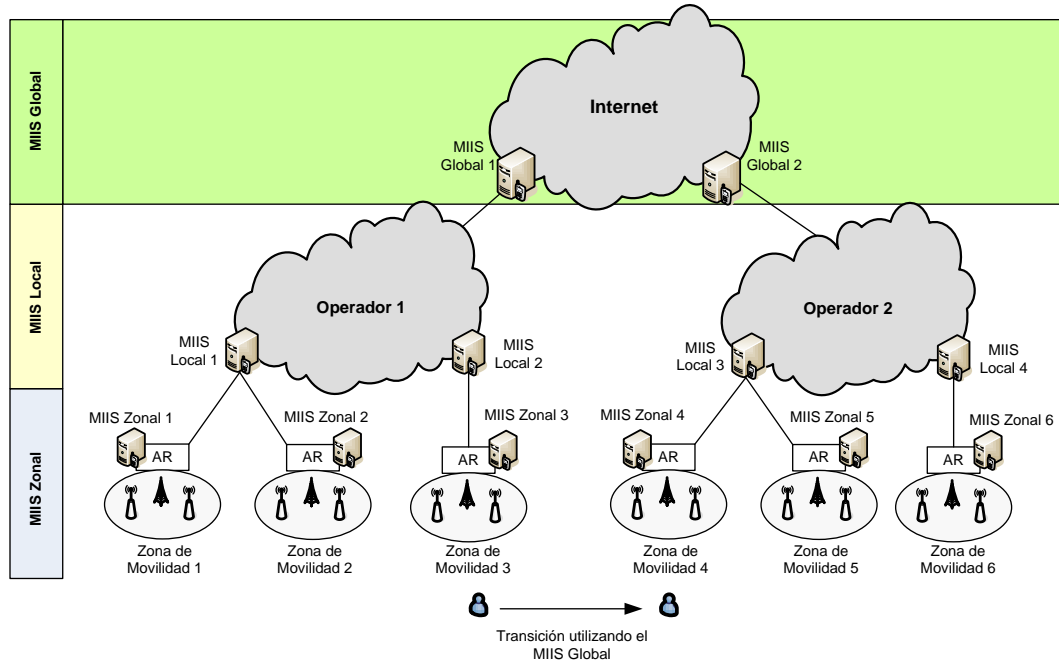


Figura 4.14: Ubicación física del servidor MIIS Global

prácticamente la misma información que el servidor MIIS Local, con excepción del nuevo elemento de información *IE\_Inter\_Domain*, que sirve para identificar con qué operadores tiene acuerdos de transición la red actual. Como se describe en el siguiente ítem, este elemento de información ha sido creado para identificar qué acuerdos de servicio hay entre los operadores.

Conviene reseñar que el estándar ofrece un elemento de información que permite identificar los acuerdos de transición que existen entre dos o más operadores, que se denomina *IE\_Roaming\_Partners*. Sin embargo, cuando se utiliza este elemento de información, dos operadores comparten la información de todas sus redes, no siendo posible especificar un conjunto de redes o puntos de acceso. Con el nuevo elemento de información, el *IE\_Inter\_Domain*, un operador puede especificar los puntos de acceso, las redes y las zonas de movilidad que desea compartir con otros operadores.

En *Información General* el servidor MIIS Global almacena información del operador como su nombre, su identificador, el código del país, etc. En *Información de la Red* se almacena el identificador de la red y el elemento *IE\_Inter\_Domain*. Por último, el grupo *Información del Punto de Acceso* contiene el identificador del punto de acceso *IE\_PoA\_ID* y el identificador de la zona del punto de acceso *IE\_Zone\_ID*.

#### 4.7.2 Acuerdo de Nivel de Servicio entre Servidores MIIS Global

Como se ha comentado anteriormente, en la Internet móvil del futuro se espera que los operadores colaboren entre sí y compartan tanto infraestructura de redes como información de movilidad. Para que sea posible esta colaboración se ha creado el elemento de información *IE\_Inter\_Domain*. Este elemento de información se almacena únicamente en los servidores MIIS Global de cada operador. De esta forma, se introduce aquí el modelo de acuerdo de nivel de servicio entre servidores MIIS Global, abreviadamente **MS-**

Elementos de Información		
Servidor MIIS Zonal	Servidor MIIS Local	Servidor MIIS Global
Información General	Información General	Información General
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Información de la Red	Información de la Red	Información de la Red
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
Información del Punto de Acceso	Información del Punto de Acceso	Información del Punto de Acceso
IE_POA_ID = IE_ZONE_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =	IE_POA_ID = IE_ZONE_ID =

Figura 4.15: Elementos de Información de un servidor MIIS Global

**LA** (*MIIS Service Level Agreement*). El modelo MLSA especifica que cada MIIS Global negocia acuerdos de cooperación con otros MIIS Global para compartir información de movilidad.

Los servidores MIIS Global que utilicen el modelo MSLA y tengan un acuerdo de cooperación se conocen como servidores vecinos. Un servidor sólo acepta solicitudes de otros con los que mantiene acuerdos. En otras palabras, el usuario sólo puede obtener información adicional de un punto de acceso de otro operador si los dos servidores MIIS Global son vecinos.

La Tabla 4.1 ilustra la estructura de datos donde se especifica el acuerdo de servicio que deben tener los servidores MIIS Global para que se comuniquen y ofrezcan al usuario la posibilidad de hacer transición entre diferentes operadores.

El elemento de información *IE\_Inter\_Domain* permite que un punto de acceso tenga una lista de acuerdos de transición con otros puntos de acceso, zonas de movilidad u operadores. El *IE\_Inter\_Domain* es un conjunto de elementos *IE\_Roaming\_Ptns* (lista de acuerdos de transición basados en el identificador del operador *Operator\_ID*). Éste se divide en dos campos: el nombre del operador y la lista de acuerdos MSLA. El campo MSLA representa los acuerdos entre los servidores MIIS Global y se compone de una secuencia o lista de zonas de movilidad.

Con esta estructura se puede saber por ejemplo que el punto de acceso A de la zona de movilidad A del operador A tiene un acuerdo con la zona de movilidad B del operador B. Teniendo un acuerdo con la zona B, el usuario del punto de acceso A puede hacer transición a cualquier punto de acceso perteneciente a la zona B.

Además, esta estructura tiene total flexibilidad ya que permite especificar acuerdos de servicio entre diferentes zonas de movilidad o integralmente entre operadores, al contrario que el elemento de información *IE\_Roaming\_Partners* del estándar original.

Tabla 4.1: Acuerdo de servicio entre servidores MIIS

Tipo de Datos	Procedencia	Definición.
<i>IE_Inter_Domain</i>	<i>Choice (IE_Roaming_Ptns, Null)</i>	Estructura que contiene una lista de los operadores que desean compartir recursos.
<i>IE_Roaming_Ptns</i>	<i>List (Operator_ID)</i>	Una lista de acuerdos de transición.
<i>Operator_ID</i>	<i>Sequence (Op_Name, List(MSLA))</i>	Un tipo que representa el identificador del operador.
<i>Op_Name</i>	<i>Octect_String</i>	Un tipo que representa el nombre del operador.
<i>MSLA</i>	<i>Sequence (IE_HMA_ID)</i>	Un tipo que representa los acuerdos MSLA.
<i>IE_HMA_ID</i>	<i>Octect_String</i>	Un tipo que representa el identificador de la zona.

### 4.7.3 Señalización

La Figura 4.16 muestra la comunicación que debe existir entre el usuario móvil y el servidor MIIS Global cuando el usuario está haciendo una transición entre dos puntos de acceso administrados por dos operadores diferentes. En esta comunicación el usuario envía el mensaje *MIH Get Information request* al punto de acceso que lo reenvía hacia el servidor MIIS Global. Éste lo reenvía al servidor MIIS Zonal que tiene información del punto de acceso detectado. El MIIS Zonal responde a través del mensaje *MIH Get Information response*, que hace el camino inverso llegando al usuario final como *MIH Get Information confirm*.

La principal ventaja que tiene un servidor MIIS Global es permitir que el usuario móvil pueda hacer transiciones entre operadores diferentes, mejorando así su experiencia móvil. El principal inconveniente es que el servidor MIIS Global no tendrá completa información de las redes si no hay cooperación entre los operadores.

La Tabla 4.2 resume las principales características de cada uno de los servidores MIIS propuestos en este trabajo. Respecto a la arquitectura jerárquica de servidores MIIS cabe señalar que el uso de un determinado tipo de servidor depende de la infraestructura del operador de red (y de negocios y estrategias comerciales). Está previsto el despliegue de un sistema de información de movilidad como parte de la Internet Móvil del Futuro, lo que permitirá a los usuarios móviles desplazarse por diversas redes sin sufrir interrupción alguna en la comunicación.

Utilizando esta arquitectura de comunicación cualquier usuario móvil podrá conocer a través de cualquier tecnología de red cuáles son los operadores, redes y puntos de acceso en su vecindad. Esta arquitectura proporciona al usuario móvil una mejora significativa en la transición entre redes heterogéneas.

Los principales beneficios del sistema jerárquico de información de movilidad son:

Tabla 4.2: Comparativa de las características de los tipos de servidores MIIS

Servidor	Arquitectura	Características	Información de los puntos de acceso	Señalización
Zonal	Centralizada. Acceso directo al servidor MIIS Zonal.	El más fácil de implementar. Un MIIS único por zona. No es escalable.	Limitada. Sólo información de los puntos de acceso de la zona están disponibles.	Mejor rendimiento. Rápida respuesta al usuario.
Local	Híbrida. El servidor MIIS puede reenviar la solicitud de información a un determinado servidor.	Control de alto nivel sobre varios MIIS Zonal. Necesita un protocolo de comunicación entre los MIIS y actualizaciones con respecto a cada zona de movilidad. De plena confianza del dominio administrativo.	Media. Puede reenviar la solicitud a otros MIIS que contienen la información del punto de acceso.	Tiene un tiempo de respuesta mayor que el MIIS Zonal, pero ofrece opciones de puntos de acceso de diferentes zonas para que el usuario haga una transición mejor.
Global	Distribuida. Puede contener información de múltiples operadores, en función de los acuerdos de servicios establecidos.	Apoyo a transiciones entre operadores. Requiere de acuerdos entre operadores de servicios y el protocolo de comunicación entre servidores MIIS.	Completa. El usuario puede obtener información de cientos o miles de puntos de acceso de varios operadores.	Como los MIIS Global actúan como un proxy para otros MIIS, presenta un buen rendimiento de señalización, pero requiere actualización de la información entre los servidores MIIS Zonal, Local y Global.

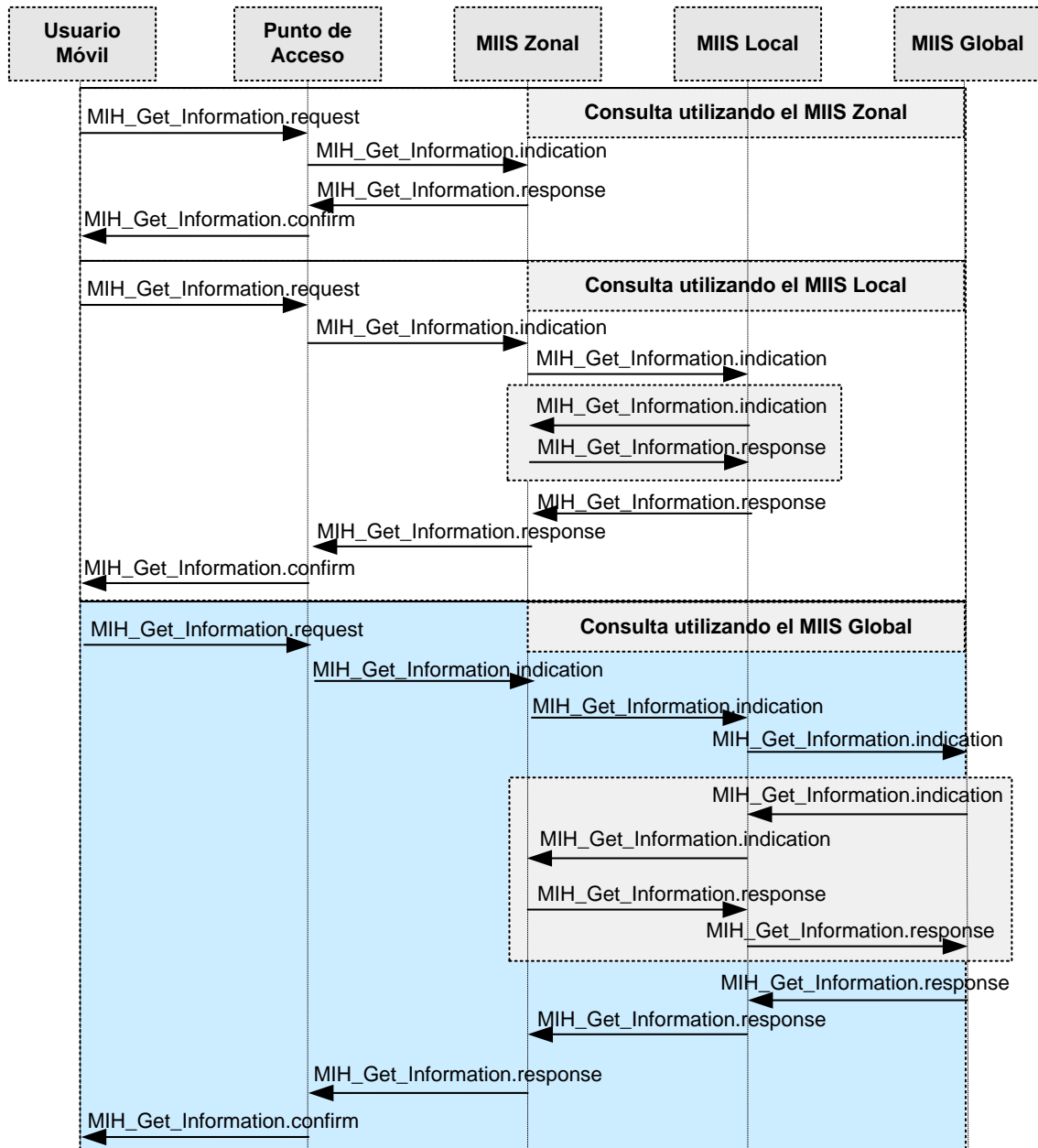


Figura 4.16: Comunicación entre el usuario y el MIIS Global

- **Flexibilidad:** el sistema de información de movilidad es flexible pudiendo soportar diferentes tipos de escenarios.
- **Escalabilidad:** permite una mejor segmentación de la información de movilidad dividiéndola en los diferentes tipos de servidores MIIS.
- **Bajo retardo:** al haber un servidor MIIS a pocos saltos de distancia del usuario se minimiza el tiempo de descubrimiento de redes de acceso y su información en una determinada zona geográfica, así como el tiempo final de la transición.
- **Redundancia:** el sistema evita tener un único punto de fallo en la red. Además, al

tener la información en diferentes servidores MIIS, resulta más fácil la implementación de un mecanismo de caché en los diferentes niveles de la jerarquía.

- **Información adecuada:** ofrece al usuario móvil un conjunto de información de movilidad que le permite tomar mejores decisiones al hacer una transición. Además, el usuario sólo recibe información de las redes de acceso de su vecindad.
- **Baja sobrecarga:** las solicitudes de información de movilidad se distribuyen por los diferentes servidores MIIS, minimizando el uso de recursos y mensajes en el *backbone* de la red.

## 4.8 Síntesis del Capítulo

El principal objetivo de este capítulo ha sido describir la problemática de la especificación de un sistema de información de movilidad en redes heterogéneas, diseñar un sistema de información de movilidad con el objetivo de reducir el tiempo de descubrimiento de redes vecinas y mejorar la calidad de las transiciones entre redes de distintas tecnologías y con diferentes operadores. El sistema propuesto considera la división de las redes de acceso en zonas geográficas de movilidad, clasificadas de forma jerárquica y administradas por distintos tipos de servidores MIIS: MIIS Zonal, MIIS Local y MIIS Global.

También se ha realizado una comparación de las características de cada servidor MIIS propuesto, señalando sus propiedades y ventajas.

El sistema de información de movilidad forma parte de lo que se llama la Internet Móvil del Futuro, donde los operadores de telecomunicaciones comparten infraestructura de redes y servicios y el usuario puede desplazarse por diversas redes de distintas tecnologías y de operadores diferentes.



## Capítulo 5

# Mecanismo de Caché para el Sistema de Información

Este capítulo describe el diseño de un mecanismo de caché para el sistema de información de movilidad. En primer lugar se describen conceptos y características de un mecanismo de caché, utilizando la caché web como ejemplo.

Luego, se especifica un mecanismo de caché para el sistema jerárquico de servidores MIIS. El mecanismo contempla la instalación de una caché en cada uno de los diferentes tipos de servidores MIIS, además de una caché local en el usuario móvil.

Asimismo, se hace una descripción de un nuevo mecanismo de acuerdo de servicio entre cachés, donde éstas colaboran entre sí para ofrecer información de movilidad a usuarios de dos o más operadores. Posteriormente, se describe la política de reemplazo de información del sistema. El capítulo finaliza con una breve síntesis de lo expuesto en el mismo.

### 5.1 Introducción

En áreas con gran densidad de usuarios, redes y puntos de acceso como es el caso de Manhattan (en 2009 en la ciudad de Nueva York vivían unas 10.000 personas por cada km<sup>2</sup>, pero concretamente en Manhattan, la densidad era de 26.000 personas por km<sup>2</sup>), cientos o miles de usuarios están desplazándose por distintas zonas de movilidad haciendo sucesivas transiciones. En este tipo de escenario diferentes usuarios pueden solicitar información relativa al mismo punto de acceso, provocando un gran uso del ancho de banda y de los recursos de la red. Para reducir el intercambio de información en el *backbone*, la sobrecarga en los servidores MIIS y minimizar el tráfico en la red, se utiliza una técnica conocida como caché.

El mecanismo de caché es una de las técnicas claves para mejorar la utilización y distribución de la información. El ejemplo más conocido de caché es el *web caching* [WC97] [RS02], el mecanismo de caché para Internet. En Internet casi toda la información de las páginas web están en caché y el usuario no siempre tiene que visitar el servidor de origen de la información para obtenerla. Las cachés web actúan como intermediarias entre los clientes de la red y los servidores web de origen, tal y como se ilustra en la Figura 5.1.

El principal objetivo cuando se utiliza la técnica de caché es mantener una copia temporal de algún objeto para evitar la solicitud de éste la próxima vez que sea demandado, disminuyendo así el tráfico y el retardo en la respuesta al cliente.

Cuando un cliente necesita acceder a un dato que presumiblemente exista en la caché, revisa ésta, si lo encuentra se tiene un acierto de caché (*cache hit*). La tasa de aciertos representa el porcentaje de solicitudes que fueron tramitadas gracias a que en la caché se



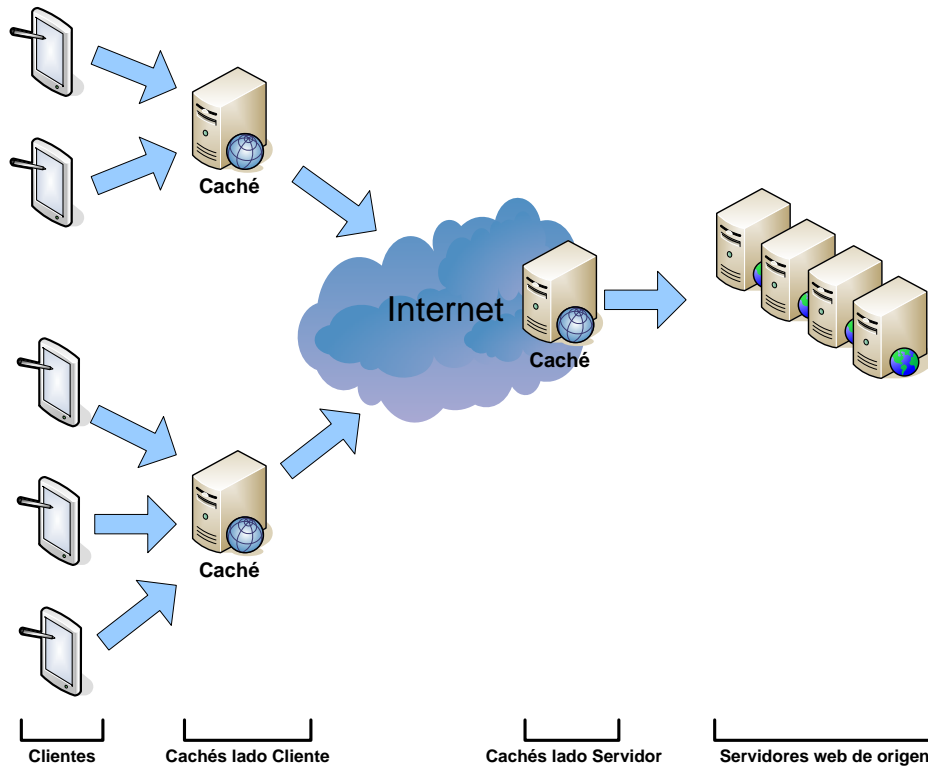


Figura 5.1: Caché Web

encontraba una copia de la información solicitada. Si la información no se encuentra en el servidor caché y la petición tiene que ser reenviada a la próxima caché, ocurre lo que se denomina fallo de caché (*cache miss*).

Básicamente, existen dos mecanismos para implementar un sistema de caché a gran escala (Internet): la caché jerárquica [CDN+96] y la caché distribuida [JH97].

En una jerarquía de cachés web, éstas se colocan en diferentes niveles de la red. En el nivel inferior se encuentra la caché de la máquina del cliente, específicamente en el navegador de Internet, que normalmente provee esta funcionalidad. Un segundo nivel de caché web está en la red local de la que el usuario es cliente. El tercer nivel de caché se encuentra en un lugar mayor, jerárquicamente hablando, ya que puede encontrarse en el nivel organizacional o en alguna clase de división regional. El cuarto nivel de caché, también llamado *acelerador web*, se encuentra del lado del servidor web.

Por otro lado, en una caché distribuida no hay cachés intermedias en la red. En este esquema normalmente las cachés cooperan e intercambian información utilizando el protocolo *Inter Cache Protocol* [WC97]. [RSB01] recoge un análisis detallado donde se compara el rendimiento de las cachés jerárquica y distribuida.

En este capítulo se utiliza el mecanismo de caché web jerárquica como ejemplo para mejorar el funcionamiento y el rendimiento del sistema jerárquico de información de movilidad. Sin embargo, como se trata de información de movilidad y, sobre todo, información relativa a dos o más proveedores de servicios, se proponen importantes cambios para que funcione adecuadamente.

## 5.2 Caché Jerárquica de Información de Movilidad

En una jerarquía de cachés las inferiores reenvían a las superiores los fallos de caché hasta que se encuentra una que tenga la información. Si la información no existe en ninguna caché, la petición se envía al servidor origen. Una jerarquía de cachés es útil porque ofrece mejor rendimiento al sistema reduciendo el uso del ancho de banda de la red y aumentando la velocidad de respuesta al usuario.

El mecanismo de caché para el sistema de información de movilidad funciona de forma bastante similar a la caché web, ya que la información de movilidad se aloja en diferentes servidores MIIS. El objetivo es reducir el número de mensajes en la comunicación entre el usuario y el servidor MIIS, ya que en algunos casos el usuario puede tener que esperar demasiado tiempo si la información está en un servidor a muchos saltos de distancia, como ocurre en las transiciones entre operadores, donde se tiene que utilizar el servidor MIIS Global para tener acceso a la información de movilidad.

Es muy importante especificar qué contenidos pueden y deben estar en la caché y cuáles no. Si no se gestiona eficientemente el sistema de caché se corre el riesgo de ofrecer a los clientes móviles un contenido que no está actualizado saturando el servidor MIIS origen con peticiones innecesarias. Seguidamente, se especifica un mecanismo de caché para el sistema jerárquico de información de movilidad con objeto de reducir el retardo en el proceso de descubrimiento de redes, la sobrecarga en la red y el número de mensajes intercambiados en el núcleo del operador. El mecanismo propuesto se divide en 3 partes: Modelo Conceptual, Acuerdo de Servicio y Política de Reemplazo.

### 5.2.1 Modelo Conceptual

Como se puede ver en la Figura 5.2, la caché de información se divide en cuatro niveles diferentes. Según este esquema los usuarios tienen internamente una caché UC (*User Cache*) y están conectados a los puntos de acceso que a su vez lo están a las cachés ZC (*Zone MIIS Cache*). Éstas se conectan y comunican con las cachés LC (*Local MIIS Cache*). Por último, las cachés LC se conectan a las cachés GC (*Global MIIS Cache*) que se comunican con otras GC a través de un *backbone* común o a través de Internet.

### 5.2.2 Acuerdo de Servicio

Para que haya colaboración y comunicación entre las diferentes cachés, normalmente se asume que las cachés están siempre dispuestas a aceptar las peticiones de las otras cachés cooperantes. Este requisito es válido cuando las cachés que cooperan pertenecen a la misma empresa o al mismo operador. En la Internet actual éste no suele ser el caso. Diferentes operadores, empresas y organizaciones tienen sus propias redes, servidores y políticas de cachés. Asimismo, los operadores tienen distintas restricciones de seguridad que tienen que ser aceptadas por los usuarios al utilizar los diferentes niveles de cachés.

La colaboración entre diferentes cachés en el sistema de información de movilidad se produce a través de un nuevo elemento de información, denominado *IE\_Inter\_Cache*. Se introduce aquí el modelo de acuerdo de nivel de servicio entre cachés, abreviadamente CSLA (*Cache Service Level Agreement*). El modelo CSLA funciona de forma similar al MSLA y especifica que cada caché negocia acuerdos de cooperación con otras cachés para compartir información de movilidad y sólo acepta solicitudes de clientes o de otras cachés con las que mantiene acuerdos.

Las cachés que utilicen el modelo CSLA y tengan un acuerdo de cooperación entre sí se conocen como cachés vecinas. La caché envía la solicitud del usuario a uno de sus

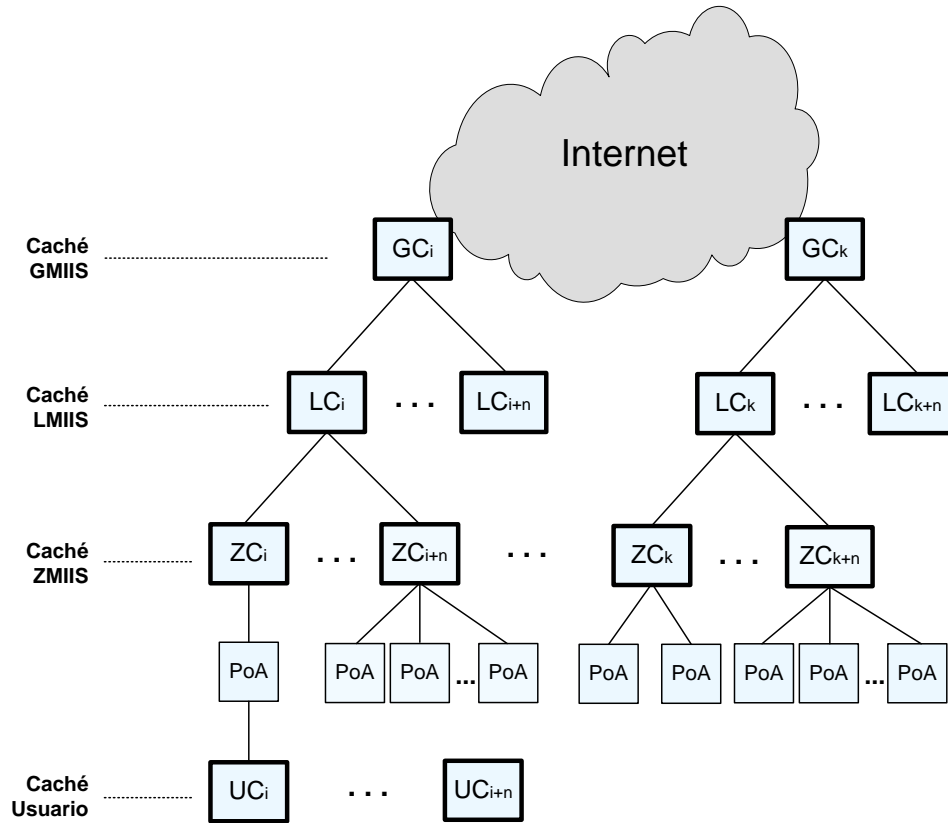


Figura 5.2: Caché Jerárquica

vecinos, quien lo transmite a los suyos, y así sucesivamente hasta que la solicitud llega a una caché que tenga la información o hasta que llegue al servidor origen.

La Tabla 5.1 ilustra la estructura de datos donde se especifica el acuerdo de servicio que deben tener las cachés para que se comuniquen y ofrezcan al usuario la posibilidad de utilizar alguna caché antes de hacer la consulta al servidor MIIS origen que contiene la información original y así obtener la información de una entidad más cercana.

El elemento de información *IE\_Inter\_Cache* permite que una caché tenga una lista de acuerdos de servicio con otras cachés. El *IE\_Inter\_Cache* es un conjunto de elementos *IE\_Cache\_Ptns* (lista de acuerdos de transiciones basados en el identificador del operador *Operator\_ID*). Éste se divide en dos campos: el nombre del operador y la lista de acuerdos CSLA. El campo CSLA representa los acuerdos de servicio entre las cachés y se compone de una secuencia o lista de cachés.

Con esta estructura se puede saber por ejemplo que una caché A de la zona de movilidad A del operador A tiene un acuerdo con la caché B de la zona de movilidad B del operador B. Teniendo un acuerdo con la caché B, el usuario del punto de acceso A puede intentar obtener la información en su caché local UC, luego en la caché A, y si no la encuentra, puede consultar la caché B antes de enviar la solicitud de información al servidor MIIS de origen. Además, esta estructura tiene flexibilidad total ya que permite especificar acuerdos de servicio entre distintas cachés, aunque sean de operadores diferentes.

Tabla 5.1: Acuerdo de servicio entre cachés MIIS

Tipo de Datos	Procedencia	Definición
<i>IE_Inter_Cache</i>	<i>Choice (IE_Cache_Ptns, Null)</i>	Estructura que contiene una lista de las cachés que desean compartir recursos.
<i>IE_Cache_Ptns</i>	<i>List (Operator_ID)</i>	Una lista de acuerdos de transiciones.
<i>Operator_ID</i>	<i>Sequence (Op_Name, List(CSLA))</i>	Un tipo que representa el identificador del operador.
<i>Op_Name</i>	<i>Octect_String</i>	Un tipo que representa el nombre del operador.
<i>CSLA</i>	<i>Sequence (Cache_ID)</i>	Un tipo que representa los acuerdos CSLA.
<i>Cache_ID</i>	<i>Octect_String</i>	Un tipo que representa el identificador de la caché.

### 5.2.3 Política de Reemplazo

Uno de los problemas de las cachés aparece cuando los documentos de una petición no están en la caché y no existe más espacio disponible en la misma. En estas condiciones hay que eliminar alguna información existente en la caché para que ésta pueda albergar nueva información de movilidad. De la decisión de qué información eliminar de una caché llena para albergar información nueva se encargan las políticas o algoritmos de reemplazo.

Según [WC97] y [RS02] hay gran variedad de algoritmos que utilizan diferentes políticas para determinar cuál es la información que debe eliminarse. Los algoritmos más comunes son: edad (tiempo que el objeto ha permanecido en la caché), tamaño del objeto, cantidad de solicitudes en un determinado período, etc. El usuario puede, mediante configuración en el software, elegir cuál es el método más adecuado para su empresa o su organización. El almacenamiento en caché ha sido tema de estudio por parte de investigadores y desarrolladores que han propuesto y evaluado numerosos algoritmos de reemplazo en los últimos años, algunos de las cuales se describen a continuación:

- **LRU (Least Recently Used)**: esta política de reemplazo busca un mejor rendimiento de la caché ya que utiliza como parámetro de reemplazo el tiempo que ha permanecido la información sin haber sido solicitada por algún cliente.
- **FIFO (First In First Out)**: en este algoritmo el primer objeto en entrar en la caché será también el primero en salir de la caché. Esta política toma como parámetro principal la edad del objeto a la hora de eliminar información de la caché.
- **Random**: la función de reemplazo se realiza por medio de una selección aleatoria del objeto, sin tener en cuenta ningún otro parámetro o propiedad del mismo, es decir, todos los objetos tienen la misma probabilidad de ser eliminados de la caché.
- **LFU (Least Frequently Used)**: LFU es similar a LRU, pero en lugar de seleccionar el objeto a eliminar basándose en el tiempo, en este algoritmo el parámetro

más significativo es el número de accesos que ha tenido el objeto. LFU sustituye a los objetos que menos veces hayan sido solicitados y mantiene en caché a los más solicitados por los usuarios.

- **Tamaño:** este algoritmo toma el tamaño del objeto como parámetro de decisión a la hora de reemplazar algún objeto en la caché. Los objetos con mayor tamaño son los primeros a ser reemplazados de la caché.
- ***GreedyDual-Size (GDS)*:** el algoritmo de reemplazo GDS asigna valor a los objetos almacenados en la caché basándose en el coste de un error de caché y el tamaño del objeto. La ventaja del algoritmo GDS es que no especifica exactamente qué es el coste. Esto proporciona gran flexibilidad para optimizar todo lo que uno desea. Por ejemplo, el coste puede ser la latencia en recibir la respuesta, el número de paquetes transmitidos por la red o el número de saltos entre el servidor de origen y la memoria caché.

De todos los algoritmos citados anteriormente el más utilizado es LRU. Una de las razones de esta popularidad es su simplicidad [WC97]. Algunos de los algoritmos propuestos en los últimos años son difíciles de implementar de manera eficiente. El sistema jerárquico de información de movilidad adopta el modelo de que la información que no ha sido solicitada en un determinado tiempo, debe eliminarse y reemplazarse por otra, independientemente del tamaño que ocupe en la caché. Significa que, si la información de un determinado punto de acceso no es solicitada en un tiempo  $T$ , esta información se elimina de la caché reemplazándose por nueva información. Este puede ser el caso de un determinado punto de acceso que haya sido desconectado de la red y de nuevos puntos de acceso que hayan sido conectados al *backbone* del operador, permitiendo al usuario tener siempre una lista actualizada de redes de acceso en su región o zona geográfica.

### 5.3 Funcionamiento

Cuando el usuario enciende su teléfono móvil y se conecta a una determinada red, recibe información del punto de acceso al que se está conectando así como también información de los puntos de acceso de su entorno geográfico. Este proceso permite que el usuario tenga información inicial almacenada en su caché local UC. Asumiendo que las cachés cooperan entre sí y que están disponibles para el envío de la información de movilidad respetando los acuerdos CSLA, se tiene que para cada solicitud enviada por un usuario móvil puede darse uno de los siguientes cinco casos:

- **Caché Usuario (Acierto UC):** al empezar a moverse por una determinada zona, el usuario detecta un nuevo punto de acceso y verifica en su caché UC si hay información adicional del punto de acceso detectado. Si es así y la información almacenada es válida (no ha caducado) ocurre un acierto UC y el usuario obtiene la información directamente de su base de datos local, no necesitando conectarse a ningún servidor MIIS, lo que reduce considerablemente el tiempo de búsqueda de información. Si no está la información en su caché, es decir, si ocurre un fallo UC, el usuario envía la petición a la caché del siguiente nivel de la jerarquía.
- **Caché ZMIIS (Acierto ZC):** si la información que el usuario busca está en la caché del servidor MIIS Zonal y es válida (no ha caducado) ocurre un acierto ZC. Si la información no está en la caché o ya no es válida ocurre un fallo ZC y la petición tiene que ser reenviada a la caché del siguiente nivel de la jerarquía.

- **Caché LMIIS (Acierto LC):** si la información que el usuario busca está en la caché del servidor MIIS Local y es válida (no ha caducado) ocurre un acierto LC. Si la información no está en la caché o no es válida ocurre un fallo LC y el servidor MIIS Local reenvía la petición a la caché del siguiente nivel de la jerarquía.
- **Caché GMIIS (Acierto GC):** si la información que el usuario busca está en la caché del servidor MIIS Global y es válida (no ha caducado) ocurre un acierto GC. Si la información no está en la caché o no es válida ocurre un fallo GC y el servidor MIIS Global reenvía la petición a la caché del siguiente nivel de la jerarquía.
- **Servidor MIIS origen:** si la información que el usuario busca no está en la caché de ninguno de los servidores MIIS de la estructura jerárquica pero es un punto de acceso conocido, se reenvía la solicitud al servidor MIIS Zonal origen que contiene la información original solicitada por el usuario.

Al enviar el mensaje de respuesta al usuario con la información del punto de acceso detectado, sea originado por una caché o por el servidor MIIS de origen, una copia de la información se queda en cada caché (del camino inverso) que tenga el acuerdo CSLA. Al dejar una copia de la información en cada nivel de la jerarquía, futuros usuarios pueden hacer uso de la caché en vez de consultar al servidor origen, reduciendo el tiempo en la obtención de la información de movilidad y mejorando así el tiempo global de la transición.

## 5.4 Síntesis del Capítulo

El objetivo principal de este capítulo ha sido especificar un mecanismo de caché para el sistema jerárquico de servidores de información de movilidad con el objetivo de reducir el tiempo de descubrimiento de redes vecinas y mejorar la calidad de las transiciones entre redes de distintas tecnologías y operadores. El sistema considera la especificación de una caché en el usuario móvil y en cada uno de los tipos de servidores de la arquitectura.

También se ha especificado un modelo de acuerdo de servicio entre cachés (CSLA), que permite que las cachés cooperen y compartan información de movilidad, beneficiando al usuario móvil. Por último, se ha adoptado el algoritmo de reemplazo LRU por su simplicidad y por encajar en el funcionamiento de sistema jerárquico de servidores MIIS.



## Capítulo 6

# Simulación y Resultados

Este capítulo presenta las simulaciones realizadas utilizando varios escenarios reales que comprueban la aplicabilidad de la propuesta. Para ello se ha utilizado el simulador de redes *Network Simulator 2* [NS-] que es el más utilizado en el área.

Primero se comentan las características técnicas de la simulación, las funcionalidades del simulador de redes y los cambios que se han tenido que hacer para implementar la arquitectura jerárquica de información de movilidad. Posteriormente, se describe el escenario de simulación donde se utilizan las redes inalámbricas Wi-Fi, Wi-Max y 3G.

A continuación, se comentan las métricas de simulación que se han analizado como, por ejemplo, el retardo en el descubrimiento de redes vecinas, el tiempo de transición, la sobrecarga en la comunicación, el número de transiciones óptimas, etc.

El capítulo finaliza con una breve síntesis de lo expuesto en el mismo.

### 6.1 Introducción

La versión oficial del estándar IEEE 802.21 con todas sus funcionalidades se publicó a principios del año 2009, por lo que los fabricantes y operadores de telecomunicaciones llevan sólo 3 años trabajando en la implementación y experimentación de la tecnología. Entre las implementaciones existentes del estándar IEEE 802.21 pueden destacarse:

- **Network Simulator 2** [NS-]: el simulador de redes *Network Simulator 2*, también conocido como NS-2, es capaz de simular una gran variedad de redes incluyendo redes Wi-Fi, Wi-Max y 3G. El flujo de mensajes de datos, paquetes perdidos, mensajes de flujo de control, caídas de los enlaces, etc., son algunas de las opciones que contempla este simulador, proporcionando la forma más efectiva para demostrar la validez de nuevas propuestas. Una nueva versión del simulador está siendo desarrollada desde 2008, la versión NS-3. Sin embargo, esta versión no contempla la implementación del estándar IEEE 802.21 ni muchas de las funcionalidades necesarias para la realización de transiciones en ambientes heterogéneos.
- **ODTONE** [ODT]: la implementación *Open Dot Twenty One* fue desarrollada en el Instituto de Telecomunicaciones de Portugal con sede en Aveiro. Es una implementación del estándar IEEE 802.21 en código abierto que utiliza el lenguaje de programación C++. ODTONE ofrece la implementación del MIHF con sus servicios MIES, MICS y MIIS. Actualmente funciona en diferentes sistemas operativos. Es compatible con GNU / Linux, Android y Windows. Sin embargo, no se ha experimentado mucho con ella.



- **OpenMIH** [Ope]: es una implementación de código abierto del estándar IEEE 802.21 y sus servicios. Su objetivo es proporcionar una implementación extensible para que la comunidad académica pueda hacer experimentos. Sin embargo, el código no se actualiza desde 2009, por lo que no es una implementación muy utilizada.

Para la evaluación del sistema jerárquico de servidores MIIS se ha adoptado la implementación del estándar IEEE 802.21 en el simulador NS-2. La implementación original del estándar IEEE 802.21 soporta varios servicios de movilidad y contempla varias funcionalidades del estándar. Sin embargo, hay otras características (entre ellas el servicio MIIS) que no están implementadas en la versión disponible en la página web oficial [Nis07].

La versión con la que se ha trabajado es una modificación del NS-2.29 hecha por el grupo NAP (*Network Architectures and Protocols*, <http://nap.av.it.pt/>) del Instituto de Telecomunicaciones de Portugal. El grupo introdujo varios cambios en la implementación inicial del estándar, añadiendo mejoras en la capa MAC así como en el soporte de la tecnología UMTS (<http://nap.av.it.pt/research-areas/mobility>).

Para el sistema de información de movilidad propuesto se han tenido que hacer una serie de modificaciones y nuevos desarrollos en el código original del NS-2.29. Entre los cambios más importantes cabe destacar la implementación del servidor de información MIIS, sus elementos de información, sus mensajes y el algoritmo de la arquitectura jerárquica de información de movilidad. Así, se han tenido que crear los mensajes *MIH Get Information request* y *MIH Get Information response* de acuerdo con la especificación original del estándar y luego se han añadido los elementos de información *IE\_Zone\_ID*, *IE\_Inter-Domain* e *IE\_Inter-Cache*.

## 6.2 Modelo

En las simulaciones se hace una comparativa del rendimiento del sistema jerárquico de servidores MIIS con respecto al servidor MIIS estándar. Conviene reseñar que la totalidad de los trabajos existentes que utilizan el servidor MIIS a la hora de optimizar el proceso de transición consideran un sistema de información de movilidad constituido por un único servidor MIIS que responde a las solicitudes de los usuarios con información de las redes disponibles para la transición. Este servidor puede implementarse de dos formas diferentes:

Por un lado, el servidor MIIS puede estar ubicado en el núcleo del operador. De esta forma, cada operador tiene su propio servidor MIIS que gestiona la información de sus puntos de acceso. El problema es que siendo implementado únicamente dentro del núcleo del operador, infringe claramente uno de los requisitos para el despliegue de un servidor MIIS, como es el de que un servidor MIIS deba ofrecer información de movilidad de varias redes, independientemente de la tecnología y del operador. En las simulaciones este tipo de servidor MIIS se ha denominado **MIIS Std. Operador**.

Por otro lado, el servidor MIIS puede estar implementado de alguna forma en Internet o en algún *backbone* común a varios operadores. Siendo una entidad centralizada de la red debe ser un servidor con gran capacidad de procesamiento y memoria para que pueda servir a todos los usuarios de varios operadores. En este tipo de implementación el servidor MIIS almacena información de puntos de acceso de varios operadores y permite que el usuario pueda detectar y hacer la transición entre redes de distintos operadores. Este tipo de implementación no es escalable ya que en áreas bastante pobladas miles de usuarios pueden solicitar información de movilidad de forma simultánea, reduciendo el rendimiento del servidor MIIS e influyendo en el tiempo total de la transición percibido por el usuario móvil. Esta implementación se ha denominado **MIIS Std. Global**.

Consecuentemente, se ha definido un modelo analítico que permite calcular el retardo en el descubrimiento de la información para los diferentes tipos de servidores MIIS.

### 6.2.1 Retardo en el Descubrimiento de la Información

El retardo en el descubrimiento de la información del servidor MIIS es el tiempo total transcurrido desde el instante en que el usuario solicita información de movilidad de un determinado punto de acceso enviando el mensaje *MIH Get Information request* hasta que recibe el mensaje *MIH Get Information response* de cualquier servidor MIIS de la arquitectura. Sea  $\alpha$  el retardo en el enlace inalámbrico,  $\beta$  el retardo en el enlace cableado,  $\gamma$  el coste de transmisión por salto en un determinado enlace y  $Hx-y$  el número de saltos que hay entre dos entidades donde  $x$  representa el transmisor e  $y$  representa el receptor, el tiempo requerido por el usuario móvil para obtener la información del servidor MIIS Zonal viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{ZMIIS} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-ZMIIS})]$$

Cuando la información que el usuario necesita pertenece a otra zona de movilidad del mismo operador, la solicitud tiene que ser enviada al servidor MIIS Local. El tiempo requerido para que el usuario móvil pueda obtener la información utilizando el servidor MIIS Local viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{LMIIS} = T_{ZMIIS} + 2\gamma\beta(H_{ZMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS})$$

Cuando el punto de acceso detectado pertenece a otro operador la solicitud tiene que enviarse al servidor MIIS Global para que haya comunicación con el MIIS Global del otro operador. El tiempo necesario para poder obtener la información utilizando el servidor MIIS Global viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{GMIIS} = T_{LMIIS} + 2\gamma\beta(H_{LMIIS-GMIIS} + H_{GMIIS-GMIIS} + H_{GMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS})$$

Si la implementación del MIIS utiliza un único servidor dentro del operador (MIIS Std. Operador), el tiempo necesario para obtener la información viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{Std.Operador} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-Std.Operador})]$$

Finalmente, si el servidor MIIS está implementado en Internet o en algún *backbone* y responde con información de varios operadores, el tiempo para poder obtener la información del servidor Std. Global viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{Std.Global} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-Std.Global})]$$

Las simulaciones realizadas en este trabajo consideran los valores de la Tabla 6.1, que son valores utilizados por otras simulaciones en la literatura [FCL<sup>+</sup>07], [GRG09] y [YCG10].

Conviene realizar consideraciones sobre los valores listados en la Tabla 6.1. Respecto al retardo del enlace inalámbrico la simulación muestra que el tiempo depende de la tecnología utilizada (Wi-Fi, Wi-Max o UMTS). Este tiempo suele variar de 7 a 12 ms para las redes

Tabla 6.1: Métricas del modelo

Parámetro	Valor	Descripción
$\alpha$	Tiempo real	Retardo en el enlace inalámbrico
$\beta$	5, 10, 15, 20, 25 ms	Retardo en el enlace cableado
$\gamma$	1	Coste de transmisión por salto en un enlace
$N$	3-15	Salto entre el PoA y el MIIS Global
$H_{MN-PoA}$	1	Salto entre el usuario y el PoA
$H_{PoA-ZMIIS}, H_{ZMIIS-PoA}$	1	Salto entre el PoA y el MIIS Zonal
$H_{ZMIIS-LMIIS}, H_{LMIIS-ZMIIS}$	Redondeo $[(N/2)-1]$	Salto entre el MIIS Zonal y el MIIS Local
$H_{LMIIS-LMIIS}$	1	Salto entre servidores MIIS Local
$H_{LMIIS-GMIIS}, H_{GMIIS-LMIIS}$	Redondeo $(N/2)$	Salto entre el MIIS Local y el MIIS Global
$H_{GMIIS-GMIIS}$	1	Salto entre servidores GMIIS-GMIIS
$H_{PoA-Std.Operator}$	Redondeo $(N/2)$	Salto entre el PoA y el MIIS Std. Operador
$H_{PoA-Std.Global}$	$N$	Salto entre el PoA y el MIIS Std. Global

Wi-Fi, de 8 a 13 ms para las redes Wi-Max y de 15 a 26 ms para las redes UMTS. En las simulaciones se configuró el retardo medio del enlace cableado a 5 ms.

El coste de transmisión por salto en un determinado enlace tiene el valor 1, lo que equivale a decir que el tiempo de procesamiento en cada servidor MIIS es prácticamente imperceptible, del orden de nanosegundos.

La variable  $N$  es el número de saltos entre el punto de acceso y el servidor MIIS Global del operador o el servidor MIIS Std. Global y varía de 3 a 15.

El número de saltos entre el usuario y el punto de acceso es 1 (comunicación inalámbrica), entre el punto de acceso y el MIIS Zonal también se configuró con el valor 1 ya que la idea es tenerlo siempre cerca del usuario móvil.

El número de saltos entre el servidor MIIS Zonal y el servidor MIIS Local es *Redondeo*  $[(N/2)-1]$ , lo que significa que el servidor MIIS Local está a mitad de camino entre el punto de acceso y el servidor MIIS Global.

El número de saltos entre el servidor MIIS Local y el servidor MIIS Global es *Redondeo*  $(N/2)$ .

El número de saltos entre dos servidores MIIS Local del mismo operador es 1 y el número de saltos entre los servidores MIIS Global de dos operadores también es 1.

Por último, se tiene que el número de saltos entre el punto de acceso y el MIIS Std. Operador es  $N/2$  y entre el punto de acceso y el MIIS Std. Global es  $N$ .

### 6.2.2 Probabilidad de Encontrar la Información en cada Servidor MIIS

La Figura 6.1 presenta el retardo medio obtenido por el usuario a la hora de utilizar los diferentes tipos de servidores MIIS de la jerarquía para diferentes probabilidades de no encontrar la información en el servidor MIIS Zonal y para diferentes probabilidades de no encontrar la información en el servidor MIIS Local. En esta simulación  $N$  toma el valor 6 (arquitectura sencilla), es decir, hay 1 salto entre el punto de acceso y el servidor MIIS Zonal, 2 saltos entre el MIIS Zonal y el MIIS Local y 3 saltos entre el MIIS Local y el

MIIS Global.

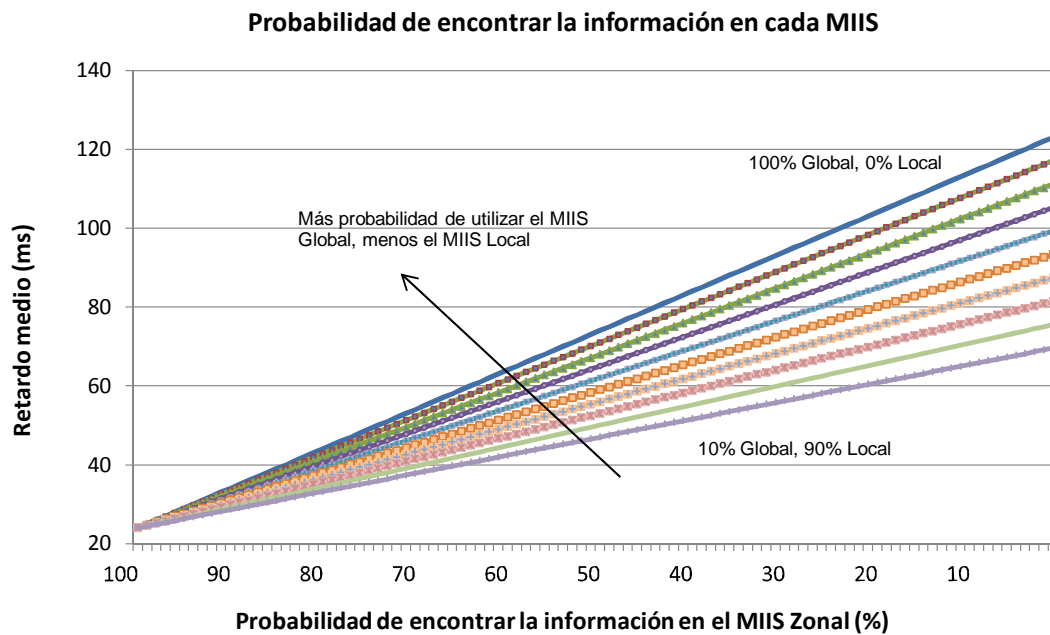


Figura 6.1: Probabilidad versus retardo servidores MIIS

La gráfica muestra que el usuario experimenta un retardo medio de 24 ms (con el servidor MIIS Zonal), 64 ms (con el servidor MIIS Local) y hasta 124 ms (con el servidor MIIS Global) para diversas probabilidades de encontrar la información deseada en los servidores de información en la arquitectura jerárquica de movilidad.

Los resultados demuestran claramente que si la información existe en el servidor MIIS más cercano (MIIS Zonal) la respuesta es rápida, pero si la información sólo está disponible después de contactar con el servidor MIIS superior, hay que añadir el tiempo de envío de la solicitud hacia el segundo o tercer servidor. Sin embargo, si el MIIS que contiene la información está a muchos más saltos, el usuario puede poner la interfaz en modo de espera hasta que reciba la respuesta del servidor MIIS, presentando una buena relación entre el consumo de energía, la calidad de la información recibida y el retardo en la obtención de la información deseada.

En las siguientes simulaciones se observa que en la gran mayoría de las veces el usuario encuentra la información deseada en el servidor MIIS Zonal (servidor más cercano), lo que reduce drásticamente el tiempo de obtención de la información de movilidad respecto al servidor MIIS estándar en cualquiera de sus dos implementaciones.

### 6.2.3 Retardo Medio versus Número de Saltos

La Figura 6.2 ilustra el retardo medio cuando el usuario realiza una petición de información a cada uno de los diferentes tipos de servidores MIIS (Zonal, Local, Global, Std. Operador y Std. Global) en función del número de saltos entre el punto de acceso y el servidor MIIS Global o MIIS Std. Global (variable  $N$ ).

La propuesta del sistema de información de movilidad considera que el usuario siempre debe tener un servidor MIIS Zonal a dos saltos de distancia (un salto del usuario al punto de acceso y otro salto del punto de acceso al servidor MIIS Zonal). El MIIS Local está en el núcleo del operador por lo que está a mitad de los saltos y el servidor MIIS Global está a  $N$  saltos de distancia.

Por ejemplo, el caso de que haya 15 saltos entre el punto de acceso y el servidor MIIS Global equivale a decir que hay 1 salto entre el punto de acceso y el MIIS Zonal, 7 saltos entre el MIIS Zonal y el Local y 7 saltos entre el MIIS Local y el Global.

En el caso de que el servidor MIIS sea una implementación estándar, el punto de acceso está a 8 saltos del MIIS Std. Operador y a 15 saltos del MIIS Std. Global.

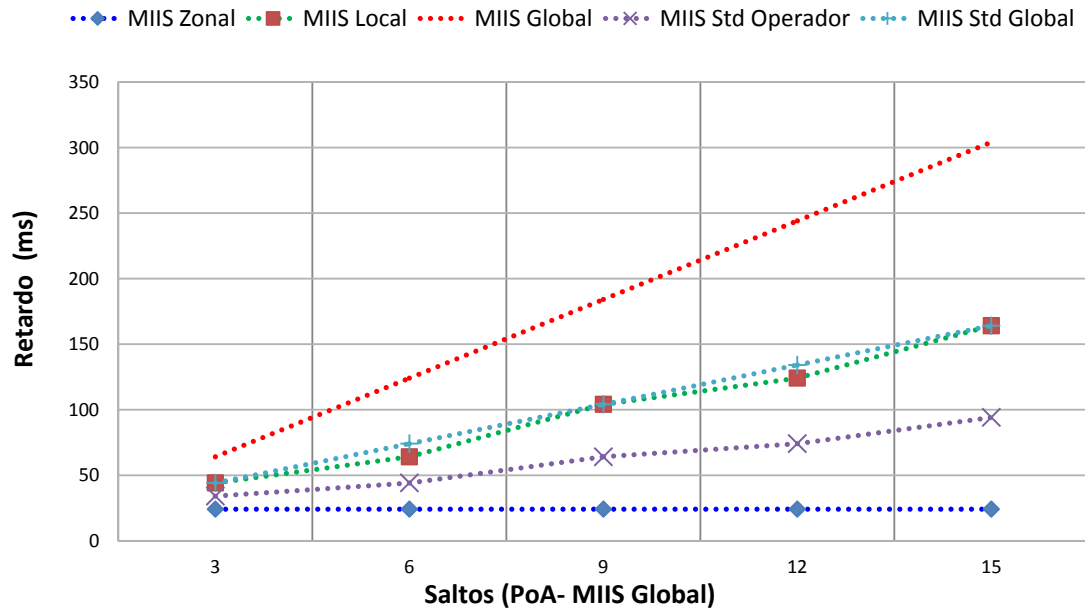


Figura 6.2: Retardo medio de acceso al servidor MIIS

La gráfica muestra que la consulta al MIIS Zonal presenta siempre un retardo medio de 24 ms. Esto es debido a que el MIIS Zonal está siempre a un salto de distancia del punto de acceso al que está conectado el usuario. El MIIS Local presenta un retardo que oscila entre 44 y 164 ms, el MIIS Global presenta un retardo entre 64 y 304 ms, el MIIS Std. Operador presenta un retardo entre 34 y 94 ms y el MIIS Std. Global presenta un retardo entre 44 y 164 ms.

El MIIS Local y el MIIS Std. Global presentan tiempos bastante parecidos, independientemente del número de saltos que haya entre el punto de acceso y el servidor MIIS.

A pesar del tiempo elevado utilizando el MIIS Global, el usuario puede realizar transiciones entre diferentes operadores obteniendo un mejor rendimiento global. Aunque el MIIS Std. Global también permite una transición entre operadores y presenta un menor retardo, la idea del sistema jerárquico de información de movilidad es que el usuario utilice más veces el MIIS Zonal que el MIIS Global. Esto se demuestra utilizando una simulación con movimiento aleatorio del usuario donde se comprueba que el retardo total es menor

utilizando el MIIS jerárquico que con las implementaciones estándares del servidor MIIS.

## 6.3 Métricas Evaluadas

Las métricas evaluadas en este trabajo han sido las siguientes:

- **Latencia de la transición:** tiempo total que el usuario demora en hacer toda la transición, es decir, tiempo que demora en ejecutar las fases de iniciación, preparación y ejecución. En los resultados puede verse cuánto tiempo demora cada una de las etapas de la transición.
- **Retardo total en el descubrimiento de la información del servidor MIIS:** tiempo total que el usuario necesita para descubrir la información de movilidad durante su desplazamiento por un determinado escenario.
- **Rendimiento:** el rendimiento medio obtenido por el usuario durante su movimiento por una determinada zona de un escenario de movilidad.
- **Número de transiciones óptimas:** número de transiciones que el usuario realiza a redes con mejores prestaciones tras recibir información del servidor MIIS.
- **Sobrecarga:** tráfico de control ocasionado por los mensajes intercambiados para la obtención de la información de movilidad utilizando los distintos servidores MIIS del sistema.
- **Tasa de acierto utilizando la caché:** ganancia de utilizar caché en los diferentes niveles del sistema jerárquico de información.
- **Retardo en la exploración:** el tiempo que el usuario tarda en hacer una exploración para descubrir redes Wi-Fi.

Con el fin de evaluar la aplicabilidad del sistema de información de movilidad, se han creado dos escenarios para simular varios tipos de transiciones (entre dominios, entre tecnologías diferentes, etc.). En el primer escenario se utiliza un movimiento lineal del usuario [BGVC<sup>+</sup>10] y en el segundo el usuario se mueve aleatoriamente [BGVC<sup>+</sup>11]. La simulación se aproxima lo más fielmente posible a un escenario real.

## 6.4 Movimiento Lineal del Usuario

En esta simulación el usuario se desplaza por el escenario realizando un movimiento lineal. En este caso se puede saber de antemano todo el recorrido del usuario. Los resultados obtenidos muestran claramente las ventajas de la arquitectura jerárquica propuesta.

### 6.4.1 Escenario

Se ha utilizado un escenario (véase Figura 6.3) donde el usuario se mueve por diferentes redes pertenecientes a dos operadores. Las características de las redes se indican en la Tabla 6.2.

Como se puede ver en la figura el escenario está dividido en dos operadores, el Operador 1 y el Operador 2. El primer operador tiene una red UMTS, dos puntos de acceso Wi-Fi y dos puntos de acceso Wi-Max. Las redes de acceso están divididas en dos zonas de movilidad gestionadas por diferentes servidores MIIS Zonal que están instalados en el

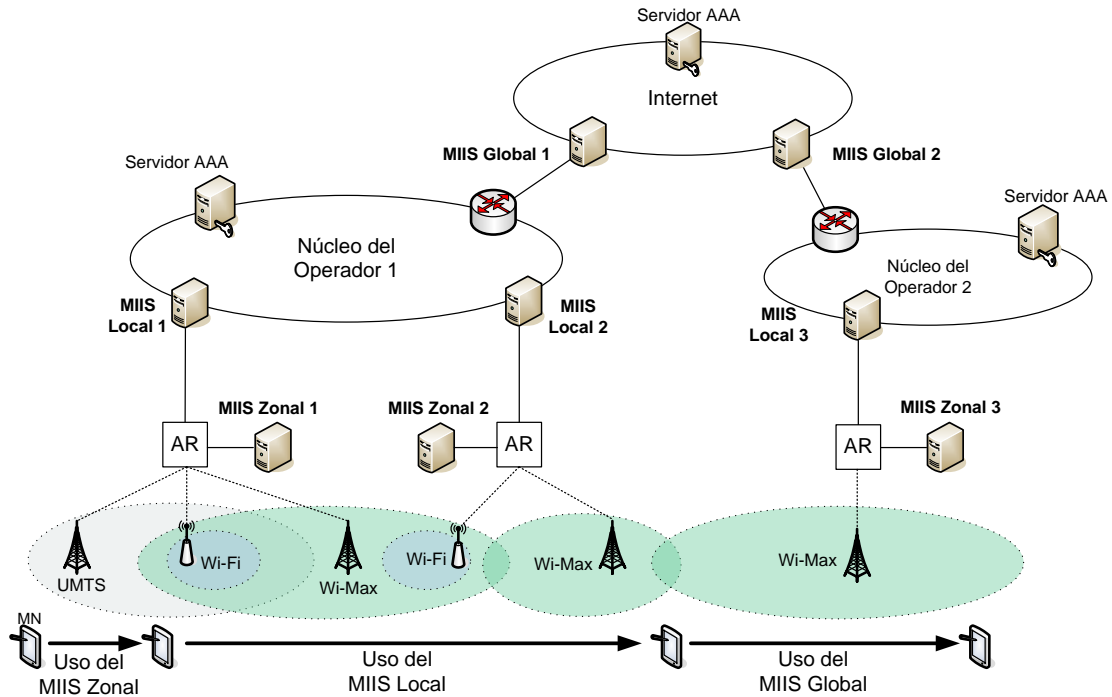


Figura 6.3: Escenario - movimiento lineal

router de acceso (*AR*, del inglés *Access Router*). Cada MIIS Zonal es administrado por un servidor MIIS Local que está instalado en el núcleo del operador. Por último, el Operador 1 tiene su MIIS Global que se comunica con el MIIS Global del Operador 2.

El segundo operador consta de una zona de movilidad y contiene un punto de acceso Wi-Max. Los servidores MIIS Zonal, Local y Global tienen las mismas características que los servidores del Operador 1 y están ubicados de forma similar dentro de la red.

Para comparar la arquitectura jerárquica con la implementación estándar del MIIS, el MIIS Std. Operador está instalado en el núcleo de la red del Operador 1. En este ejemplo no se ha instalado el MIIS Std. Operador en el Operador 2 ya que el usuario realiza un movimiento lineal del Operador 1 al Operador 2 (no tiene sentido su implementación). Tampoco se ha instalado el MIIS Std. Global.

Por último, el usuario móvil (MN), dispositivo que tiene instalada las funcionalidades del protocolo IEEE 802.21, se mueve por el escenario realizando varias transiciones.

La Tabla 6.2 indica las características de cada una de las tecnologías utilizadas en esta simulación. La red UMTS es un punto de acceso que no tiene tráfico, es decir, es una red que no tiene ninguna sobrecarga y ofrece al usuario una tasa de datos de 384 Kbps. Las redes Wi-Fi son redes con tráfico, tienen muchos usuarios conectados y sólo pueden ofrecer al usuario una velocidad de transmisión de 1 Mbps. Por último, los puntos de acceso Wi-Max son redes que no tienen tráfico y ofrecen 11 Mbps para que los usuarios puedan comunicarse a gran velocidad.

De acuerdo con el algoritmo del sistema jerárquico de movilidad, cuando el usuario detecta una nueva red, envía un mensaje *MIH Get Information request* al servidor MIIS en búsqueda de información detallada del punto de acceso. El algoritmo de decisión de transición que tiene instalado el usuario móvil tiene el siguiente orden de preferencia de conexión: redes Wi-Max, redes Wi-Fi y, por último, redes UMTS.

Tabla 6.2: Características de las redes de acceso

Red de acceso	Descripción	Tasa de datos
UMTS	PoA sin tráfico	384 Kbps
Wi-Fi	PoA con tráfico	1 Mbps
Wi-Max	PoA sin tráfico	11 Mbps

Los resultados obtenidos representan el valor medio de veinte ejecuciones independientes. Se han analizado dos métricas: el rendimiento del usuario y la latencia de la transición. La simulación demuestra que el usuario tiene mucho mejor rendimiento utilizando la arquitectura jerárquica de servidores MIIS.

### 6.4.2 Rendimiento

Una de las métricas evaluadas es el rendimiento medio obtenido por el usuario en su desplazamiento por el escenario. La Figura 6.4 muestra el rendimiento medio del usuario en los casos del MIIS Jerárquico, del MIIS Std. Operador y cuando el usuario no tiene el servicio MIIS disponible, es decir cuando no utiliza el servidor MIIS para la obtención de la información del punto de acceso detectado.

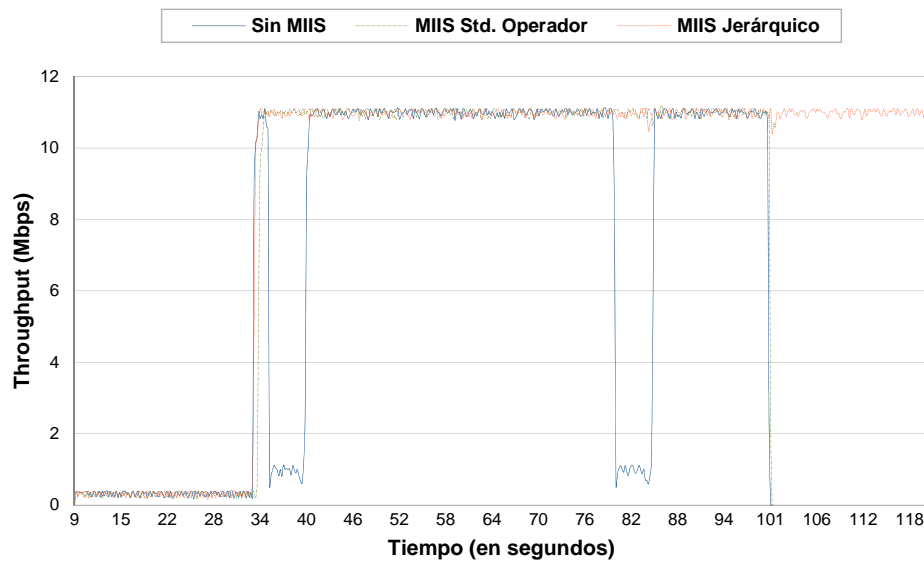


Figura 6.4: Rendimiento del usuario



Como se puede observar en la figura, sin el uso del servidor MIIS el usuario realiza transiciones para los puntos de acceso con tráfico, pues no posee información sobre sus características (hace transiciones a ciegas). Utilizando el MIIS Std. Operador, el usuario realiza transiciones hacia buenos puntos de acceso, aprovechando que éstos no tienen tráfico, obteniendo un buen rendimiento. Sin embargo, al utilizar el MIIS Std. Operador el usuario no realiza transiciones entre operadores, no obteniendo la ventaja del último punto de acceso (red Wi-Max) del Operador 2 (después de la marca 100 s de la figura).

Finalmente, utilizando la arquitectura jerárquica de servidores MIIS (MIIS Jerárquico), el usuario tiene conocimiento de cuáles son los buenos puntos de acceso. De esta forma, el usuario realiza la transición a partir de la marca 100 s de la figura obteniendo el mejor rendimiento.

### 6.4.3 Latencia

La Figura 6.5 ilustra el retardo medio para cada uno de los mensajes intercambiados entre las entidades en la transición entre dos redes del escenario ilustrado en la Figura 6.4. Para el cálculo de la latencia se ha adoptado el caso más sencillo, que es tener la información de movilidad en el servidor MIIS Zonal, que está a un salto de distancia. Esta elección no persigue un mejor tiempo de transición, sino facilitar la comprensión del retardo de la comunicación entre las entidades participantes en el proceso de transición.

Como se observa en la Figura 6.5, en la fase de **iniciación de la transición** el usuario tarda cerca de 38 ms básicamente. La etapa de iniciación es la etapa más corta de la transición con diferencia, ya que se trata de una etapa de configuración de parámetros.

En la fase de **preparación de la transición**, el usuario tarda cerca de 118 ms. Este tiempo se distribuye en tres mini etapas: 38 ms para el descubrimiento de las redes vecinas (retardo en la comunicación con el servidor MIIS), 40 ms para la averiguación de recursos y 40 ms para la reserva de recursos. Conviene reseñar que la segunda etapa (preparación de la transición) se constituye de 4 sub-etapas: descubrimiento de redes, barrido, averiguación de recursos y reserva de recursos. En esta simulación se ha omitido la etapa de barrido debido a que ésta depende directamente del tipo de tecnología de red y de la forma de realizarlo. Actualmente no existe ningún consenso sobre el tiempo óptimo de barrido en cada tecnología. Los trabajos existentes consideran diferentes tipos de simuladores y, en muchos casos, los resultados se obtienen a partir de implementaciones reales (dependientes del hardware utilizado). [LKS09] considera que el tiempo de barrido varía de 133 ms para un barrido selectivo, es decir, para algunos canales, hasta los 5.8 s que es el tiempo de un barrido completo en todos los canales de las redes Wi-Fi. [YCG10] menciona que el tiempo de barrido demora de 10 a 80 ms para las redes Wi-Fi, y pocos segundos para las redes Wi-Max. [KPK11] asume que el tiempo de barrido para Wi-Fi es de 250 ms.

En la fase de **ejecución de la transición** el usuario tarda aproximadamente 88 ms. El tiempo se distribuye en dos mini etapas: 48 ms para la parte de ejecución del protocolo de movilidad y 40 ms para el intercambio de los cuatro últimos mensajes del protocolo IEEE 802.21. Conviene reseñar que en esta etapa el usuario tiene que autenticarse y asociarse con la red de destino. En redes Wi-Fi el tiempo medio es de 45 ms, en redes Wi-Max es de 48 ms y en redes 3G es de hasta 110 ms. En resumen, el tiempo de ejecución de la transición depende directamente de las tecnologías de redes involucradas. Sumando las tres etapas de transición se obtiene un tiempo total de 244 ms.

Para finalizar señalar que el tiempo total de la transición depende de muchos factores: las tecnologías de red de acceso involucradas, el número de saltos entre las entidades, la sobrecarga de las redes, el tipo de barrido adoptado, el hardware utilizado en la implementación, etc. Este cúmulo de factores hace que el usuario tenga que esperar del orden

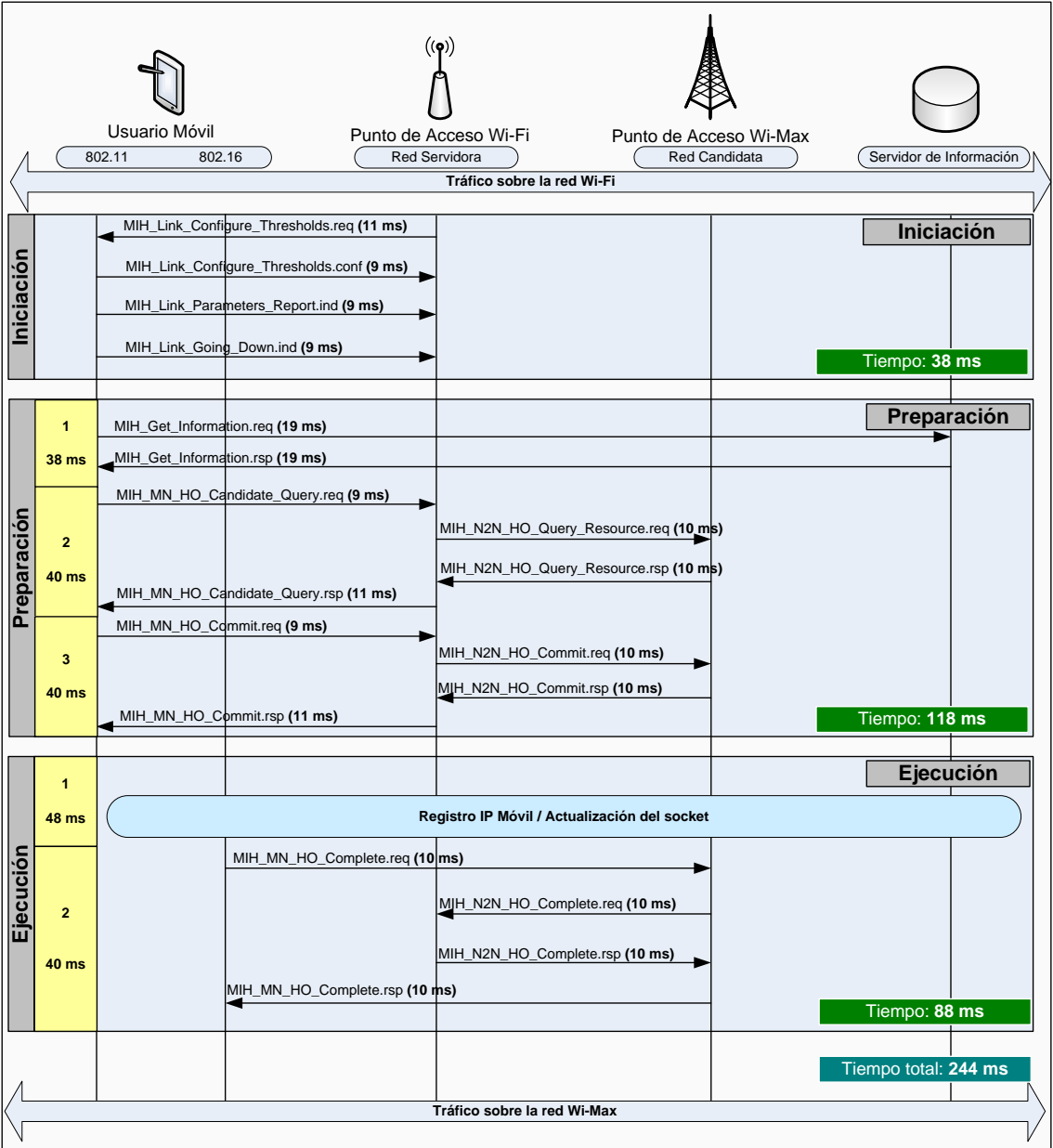


Figura 6.5: Latencia de la transición

de milisegundos para las transiciones más sencillas y hasta varios segundos para las transiciones más complejas.

## 6.5 Movimiento Aleatorio del Usuario

En esta simulación se ha utilizado el modelo de movilidad RWP (*Random Waypoint Model*) que es el modelo de movilidad más utilizado. En el modelo RWP el usuario se desplaza en línea recta y con velocidad constante entre dos puntos elegidos al azar dentro del espacio limitado para los movimientos (área de simulación). Al desplazarse el usuario determina las coordenadas (x e y) del siguiente destino mediante una variable aleatoria.

Una vez que se alcanza un destino, el usuario detiene el movimiento durante un tiempo de pausa  $T$ . En cada movimiento el usuario se mueve a una velocidad constante a través de una distribución uniforme dentro del intervalo  $[0, V_{\max}]$ , siendo  $V_{\max}$  la velocidad máxima permitida (representada en m/s).

### 6.5.1 Escenario

Como se puede ver en la Figura 6.6, el escenario de simulación está dividido en dos operadores, el Operador 1 y el Operador 2. Los dos operadores presentan las mismas características en cuanto a número de puntos de acceso, servidores MIIS, tecnologías de redes disponibles y área de cobertura.

Cada operador posee cuatro zonas de movilidad, cuatro servidores MIIS Zonal, un servidor MIIS Local y un servidor MIIS Global. La Figura 6.6 ilustra la ubicación física de los diferentes servidores MIIS del escenario. El servidor MIIS Zonal está instalado en los *routers* de acceso (AR). El servidor MIIS Local está instalado en el núcleo del operador. Por último, el Operador 1 tiene su MIIS Global que se comunica con el MIIS Global del Operador 2. Existe un acuerdo de servicio MSLA entre los dos servidores MIIS Global, que permite al usuario hacer transiciones entre los operadores de forma transparente y automática.

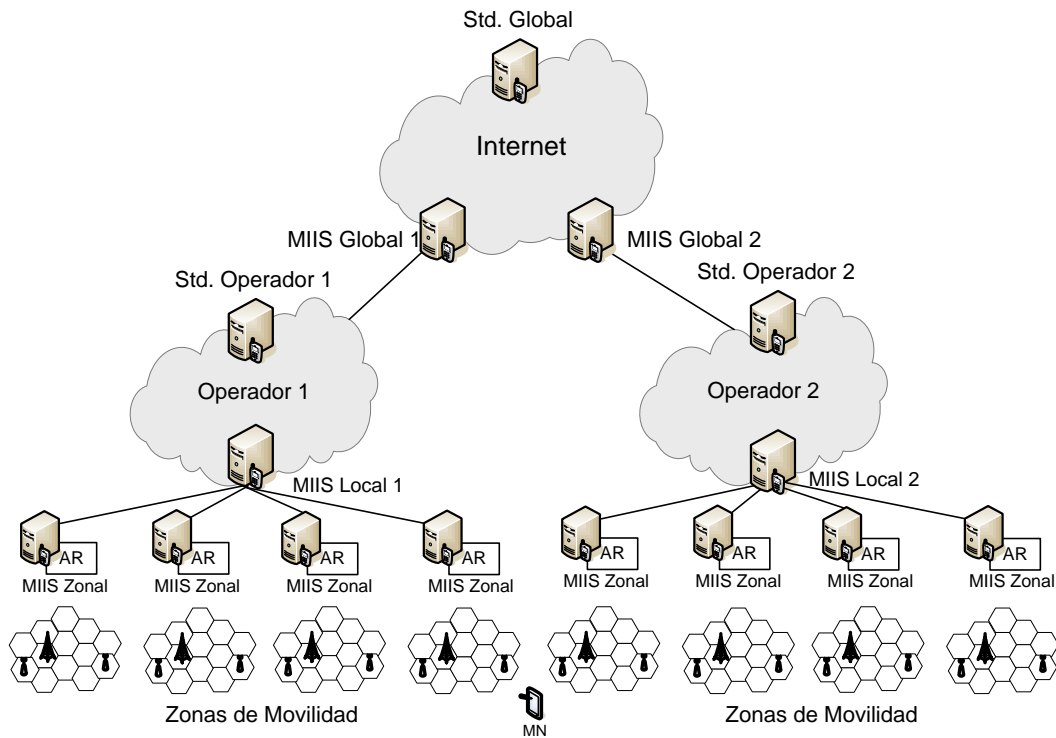


Figura 6.6: Escenario de simulación - ubicación física de los servidores MIIS

La topología del escenario depende de la cantidad de PoAs utilizados, que es variable. Se han utilizado dos de las redes inalámbricas más conocidas, Wi-Max y Wi-Fi. Las redes Wi-Max tienen un área de cobertura de 200 m y las redes Wi-Fi de 100 m. La Figura 6.7 muestra la disposición de las redes cuando hay 4, 16 y 36 PoAs Wi-Fi y 1, 4 y 9 PoAs Wi-Max por zona de movilidad. El objetivo de esta simulación con movimiento aleatorio

es evaluar el número de transiciones óptimas que el usuario hace utilizando cada uno de los tipos de servidores MIIS. Para ello se han definido algunos puntos de acceso como óptimos y otros como no-óptimos.

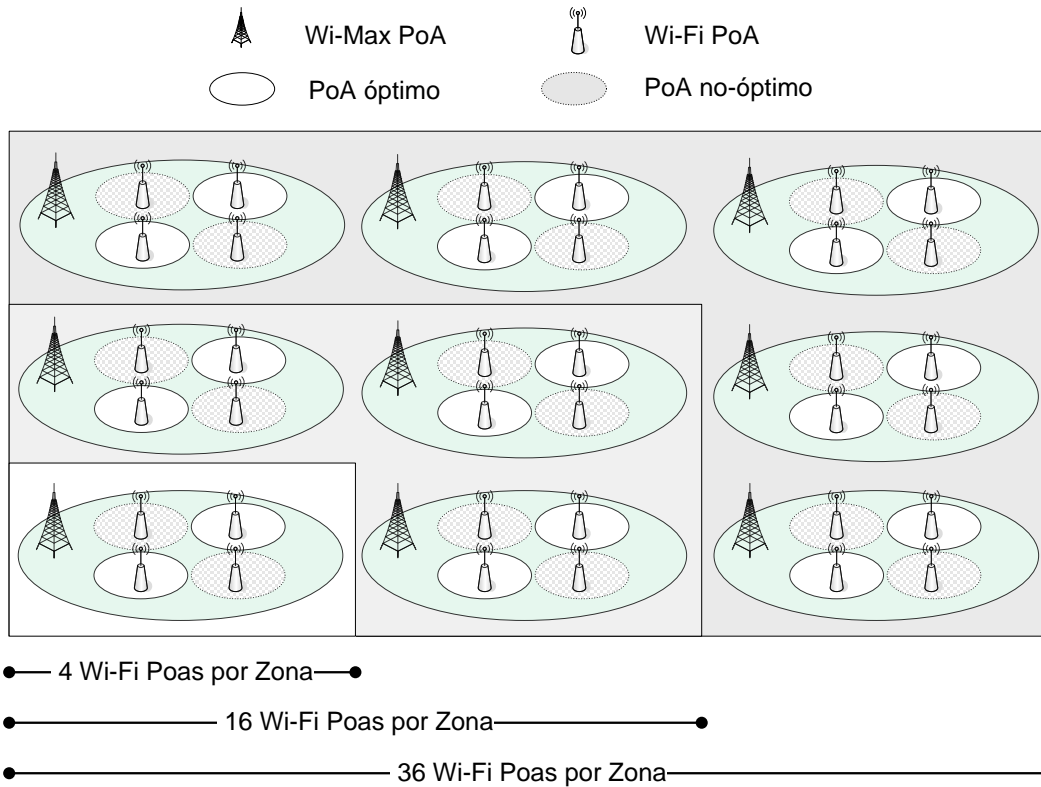


Figura 6.7: Escenario de simulación - disposición de las redes Wi-Fi y Wi-Max

Los puntos de acceso Wi-Fi de la Figura 6.7 con fondo blanco son los que garantizan al usuario una determinada tasa de datos y un ancho de banda, por lo que son considerados puntos de acceso óptimos. Los puntos de acceso Wi-Fi con el fondo negro no pueden garantizar al usuario una cierta calidad de servicio, sea por el alto número de usuarios conectados, sea porque utilizan tecnologías obsoletas como el IEEE 802.11b que no ofrecen velocidades superiores a 5.5 Mbps, de ahí que sean considerados puntos de accesos no-óptimos.

Para comparar la arquitectura jerárquica con la implementación estándar del MIIS, el MIIS Std. Operador se instala en el núcleo de la red del Operador 1 y en el núcleo del Operador 2. Estas implementaciones se denominan MIIS Std. Operador 1 y MIIS Std. Operador 2. También se compara con el servidor MIIS Std. Global. Por último, se tiene un usuario móvil que se mueve a una velocidad que varía de 2 a 10 m/s por el escenario de forma totalmente aleatoria realizando varias transiciones. La Tabla 6.3 describe las características de la simulación.

Los resultados obtenidos representan el valor medio de veinte ejecuciones independientes. El tiempo de cada simulación es de 3600 s. Se han analizado 4 métricas: el número de transiciones óptimas, el efecto del número de PoAs por zona de movilidad, la sobrecarga en bytes y una evaluación del mecanismo de caché.

Tabla 6.3: Características de la simulación

Parámetro	Valor
Tiempo de simulación	3600 s
Área de simulación	Variable
Número de operadores	2
Número de zonas de movilidad	8 (cuatro para cada operador)
Puntos de acceso Wi-Fi	4, 16, 36
Puntos de acceso Wi-Max	1, 4, 9
Cobertura Wi-Max	200 m
Cobertura Wi-Fi	100 m
Número de servidores MIIS Zonal	8 (cuatro para cada operador)
Número de servidores MIIS Local	2 (uno para cada operador)
Número de servidores MIIS Global	2 (uno para cada operador)
Número de usuarios	1
Modelo de movilidad	<i>Random Waypoint Model</i>
Velocidad del usuario	2, 4, 6, 8, 10 m/s
Tiempo de pausa	2 s
$N$ (saltos)	10

Tabla 6.4: Número de transiciones óptimas en función de la velocidad del usuario

MIIS	Retardo medio	2 m/s			10 m/s		
		consultas	retardo total	transiciones	consultas	retardo total	transiciones
Std. Operador 1	66 ms	24.19	1.6 s	11.81	112.38	7.42 s	55.18
Std. Operador 2	66 ms	24.05	1.6 s	12.24	114.51	7.56 s	56.65
Std. Global	111 ms	57.06	6.33 s	28.42	287.62	31.93 s	142.94
HMIIS (sum)	–	56.06	4.47 s	28.42	287.62	22.51 s	142.94
Zonal	28 ms	29.58	0.83 s	14.68	149.33	4.18 s	73.87
Local	109 ms	18.66	2.03 s	9.37	94.37	10.29 s	47.05
Global	183 ms	8.82	1.61 s	4.37	43.92	8.04 s	22.02

### 6.5.2 Número de Transiciones Óptimas

En la simulación el usuario puede realizar una transición tras recibir el mensaje *MIH Get Information response* de cualquiera de los servidores MIIS de la arquitectura. Tras recibir el mensaje de respuesta del MIIS, el usuario ejecuta el algoritmo de decisión y si la red detectada presenta mejores prestaciones que la red a la que está conectado el usuario se realiza la transición.

Comparando la cantidad de transiciones óptimas obtenidas por el sistema jerárquico de información de movilidad con las que obtienen los MIIS estándares se comprueba que el MIIS Jerárquico realiza muchas más transiciones óptimas que las implementaciones existentes. Además de realizar un mayor número de transiciones óptimas, las consultas toman mucho menos tiempo. En la Tabla 6.4 se puede observar el efecto de la velocidad del usuario en el número óptimo de transiciones realizadas durante el tiempo de simulación (1 hora). Mayor velocidad indica que se detectan más PoAs y, consecuentemente, se envían más consultas al servidor MIIS.

En el estudio realizado se analizan los resultados por cada tipo de servidor MIIS y se comparan los tiempos obtenidos por cada una de las implementaciones. Las características han sido: número de solicitudes que el usuario envía a un servidor MIIS, retardo medio de cada consulta, retardo total de las solicitudes y número de transiciones óptimas.

A una velocidad de 10 m/s utilizando la implementación del MIIS Std. Operador 1, el usuario envía aproximadamente 112 solicitudes al servidor MIIS estándar, lo que significa que detecta 112 puntos de acceso durante su desplazamiento. Cada solicitud tiene un retardo medio de 66 ms. Así, el usuario tarda poco más de 7.4 s en realizar todas las consultas. De los 112 puntos de acceso detectados el usuario se conecta a 55 de ellos, realizando un total de 55 transiciones óptimas. Debido a que el MIIS estándar está implementado en el núcleo del Operador 1 no tiene ningún acuerdo de servicio MSLA con el Operador 2 y no almacena información de sus puntos de acceso. Por tanto, el usuario deja de realizar transición a los puntos de accesos óptimos cuando detecta una red del Operador 2, perdiendo la conexión cuando se desplaza a la zona de cobertura de este operador.

En la implementación del MIIS Std. Operador 2 el usuario envía un total de 114 solicitudes al servidor MIIS estándar. Cada solicitud tiene también un retardo medio de 66 ms. Así, el usuario tarda 7.56 s en realizar todas las consultas. De los 114 puntos

de acceso detectados, el usuario se conecta a 57, realizando un total de 57 transiciones óptimas. Debido a que el MIIS estándar está implementado en el núcleo del Operador 2 no tiene ningún acuerdo de servicio MSLA con el Operador 1 y no almacena información de sus puntos de acceso. Por tanto, el usuario deja de realizar transiciones a los puntos de accesos óptimos cuando detecta una red del Operador 1, perdiendo la conexión cuando se desplaza a la zona de cobertura de este operador.

Utilizando la implementación del MIIS Std. Global el servidor MIIS tiene información de todas las redes de los dos operadores, pudiendo realizar el usuario transiciones interdominio. En esta implementación el usuario envía un total de 287 solicitudes al servidor MIIS Std. Global. Cada solicitud tiene un retardo medio de 111 ms. Así, el usuario tarda aproximadamente 32 s en realizar todas las consultas. De los 287 puntos de acceso detectados el usuario se conecta a 143 de ellos, realizando un total de 143 transiciones óptimas.

Utilizando la implementación del MIIS jerárquico, de los 287 puntos de acceso detectados el usuario se conecta a 143, realizando un total de 143 transiciones óptimas, al igual que en el caso del MIIS Std. Global. Utilizando el MIIS jerárquico el usuario también envía un total de 287 solicitudes. Sin embargo, las solicitudes están repartidas en los diferentes tipos de servidores MIIS de la arquitectura. Así, 149 de las 287 solicitudes (un 52 %) se envían al servidor MIIS Zonal ya que el usuario realiza más transiciones dentro de una misma zona de movilidad. Cada solicitud utilizando el MIIS Zonal tiene un retardo medio de 28 ms. Así, el usuario tarda aproximadamente 4.2 s en realizar las consultas. 94 de las 287 consultas (un 32,7 %) se realizan utilizando el servidor MIIS Local. Cada consulta tiene un retardo medio de 109 ms totalizando un tiempo de 10.3 s. Por último, 44 de las 287 consultas (15,3 %) llegan hasta el servidor MIIS Global, cada una con un retardo medio de 183 ms, totalizando un tiempo de 8.04 s.

Las implementaciones del MIIS Std. Operador 1 y Std. Operador 2 son las que presentan peores resultados respecto al número de transiciones óptimas. Por otro lado, las implementaciones MIIS Std. Global y MIIS Jerárquico obtienen el mismo número de transiciones óptimas (un total de 143). La ventaja del MIIS Jerárquico es que el usuario hace todas las consultas en 22.5 s frente a los 31.9 s de la implementación MIIS Std. Global, lo que representa una reducción de casi 33 % en el retardo total. Asimismo, la distribución de los servidores MIIS en diferentes niveles evita que la red tenga toda la información en un único servidor MIIS, evitando así que éste sea un punto de fallo. También puede verse por ejemplo que cuando el usuario se mueve a una velocidad de 2 m/s, no hay diferencias significativas en tiempos, presentando una ganancia en torno al 30 %.

Los resultados muestran que el despliegue de una arquitectura jerárquica de servidores MIIS en el que las redes de acceso están divididas en zonas de movilidad y son gestionadas por distintos servidores MIIS, mejora el rendimiento del usuario en términos del número de transiciones óptimas si se compara con las implementaciones del estándar IEEE 802.21.

### 6.5.3 Efecto del Número de Puntos de Acceso por Zona de Movilidad

En la simulación con movimiento aleatorio se analiza el efecto del número de PoAs Wi-Fi por zona en el retardo total de las consultas a los servidores MIIS. La velocidad del usuario varía de 2 a 10 m/s.

La Figura 6.8 muestra que incrementando el número de PoAs por zona de movilidad se reduce el retardo total en la obtención de la información utilizando la arquitectura jerárquica. Esto es debido a que aumentando el número de PoAs por zona se generan más consultas MIIS utilizando el servidor MIIS Zonal (que presenta menor retardo). Incluso cuando hay cuatro PoAs Wi-Fi por zona (y consecuentemente el usuario genera más

consultas a los servidores MIIS Local y MIIS Global), el retardo total de la arquitectura jerárquica (5 s) es menor que el retardo utilizando el Std. Global (7.6 s). También se puede observar que la velocidad afecta drásticamente al retardo total utilizando el MIIS Std. Global. Cuando el usuario se mueve a 10 m/s se necesitan más de 35 s para obtener la información de movilidad, mientras que en el caso del MIIS jerárquico sólo se necesitan unos 22 s aproximadamente.

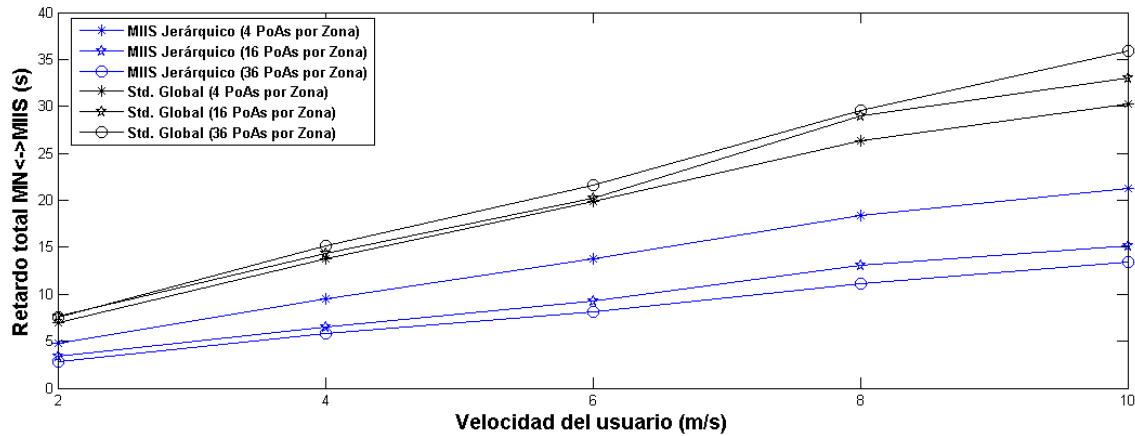


Figura 6.8: Efecto del número de puntos de acceso por zona de movilidad

#### 6.5.4 Sobrecarga

Una de las principales ventajas del MIIS jerárquico es la distribución de las peticiones en varios servidores MIIS con el objetivo de aumentar la eficiencia de la red. En términos de peticiones enviadas por el usuario móvil se envía la misma cantidad de mensajes utilizando el MIIS jerárquico que en el caso del Std. Global (véase la Tabla 6.4). Sin embargo, la sobrecarga generada por la implementación MIIS Std. Global es mucho mayor en el *backbone* de la red, mientras que en el sistema jerárquico el intercambio de información sólo es mayor dentro de cada zona de movilidad. De esta forma, la arquitectura jerárquica reduce drásticamente el tráfico en el núcleo del operador o en Internet.

La Tabla 6.5 muestra la sobrecarga de la comunicación entre el usuario y los servidores MIIS. En este escenario cada mensaje MIIS tiene 40 bytes de tamaño y la velocidad de usuario es de 10 m/s.

La sobrecarga generada utilizando el Std. Global implica un 100 % (10.89 KB) del tráfico Internet, mientras que en el MIIS jerárquico los servidores Zonal, Local y Global están implicados en un 51 %, 33 % y 15 % de la comunicación, respectivamente. Esto significa que 5.62 KB se generan dentro de la zona de movilidad, 3.62 KB es la sobrecarga en el núcleo del operador y sólo 1.65 KB es de tráfico Internet. Incrementando el número de PoAs Wi-Fi por zona se reduce la sobrecarga en el núcleo del operador así como en Internet en el caso de la arquitectura jerárquica de información de movilidad.

#### 6.5.5 Evaluación del Mecanismo de Caché

El principal objetivo de utilizar un mecanismo de caché es reducir el tiempo de descubrimiento de información cuando el usuario detecta un punto de acceso de otro operador,



Tabla 6.5: Sobrecarga (en bytes)

MIIS	4 PoAs por zona		16 PoAs por zona		36 PoAs por zona	
	Acierto	Bytes	Acierto	Bytes	Acierto	Bytes
Std.Global	100 %	10,89 KB	100 %	11,52 KB	100 %	11,3 KB
HMIIS (sum)	–	10,89 KB	–	11,52 KB	–	11,3 KB
Zonal	51,61 %	5,62 KB	76,37 %	8,81 KB	84,01 %	9,49 KB
Local	33,26 %	3,62 KB	16,11 %	1,85 KB	10,76 %	1,22 KB
Global	15,13 %	1,65 KB	7,52 %	0,86 KB	5,23 %	0,59 KB

ya que el mensaje de solicitud de información *MIH Get Information request* tiene que enviarse hasta el MIIS Global y éste lo reenvía al MIIS Zonal que contiene la información.

Se ha evaluado la utilización del mecanismo de caché en los diferentes tipos de servidores MIIS. El mecanismo de caché especifica que al enviar el mensaje de respuesta al usuario con la información del punto de acceso detectado, una copia de la información se queda en cada caché del camino inverso que tenga el acuerdo CSLA. Al dejar una copia de la información en cada nivel de la jerarquía, futuros usuarios pueden hacer uso de la caché en vez de consultar al servidor origen, reduciendo el tiempo en la obtención de la información de movilidad y mejorando el tiempo global de la transición.

En la simulación se ha evaluado principalmente la mejora en el retardo del descubrimiento de la información. Se ha observado que al utilizar el mecanismo de caché el usuario realiza muchas más transiciones con el MIIS Zonal, lo que reduce el tiempo total para la obtención de la información. Utilizando las cachés el usuario no tiene que utilizar el MIIS Global todas las veces que vaya a hacer una transición entre operadores, ya que una copia de la información solicitada puede estar en alguna caché de la estructura jerárquica de servidores MIIS.

Conviene hacer dos consideraciones importantes. Por un lado, se ha deshabilitado la caché del usuario debido a que el tiempo de aprendizaje es muy bajo y en centenas de segundos el usuario ya tiene información de todas las zonas de movilidad. Por otro lado, el tiempo de vida de la información, tiempo que la información de un determinado punto de acceso permanece almacenada en una determinada caché, es de 600 s. Los resultados de la simulación se muestran en la Tabla 6.6.

En la simulación se ha evaluado el efecto que tiene la velocidad del usuario móvil y el mecanismo de caché en la sobrecarga de la obtención de información de movilidad. Las características analizadas son: el número de solicitudes que son atendidas por un determinado servidor MIIS (aciertos), con y sin caché, y la sobrecarga generada por cada uno de los métodos.

Se observa en el MIIS jerárquico que en el mecanismo de caché más solicitudes son respondidas por el servidor MIIS Zonal del operador. Sin la caché jerárquica y a una velocidad de 10 m/s, el usuario detectaba 287 puntos de acceso y la información de 149 de ellos estaba almacenada en el servidor MIIS Zonal. Utilizando la caché, 240 de las 287 consultas son contestadas por el MIIS Zonal (un incremento del 32 % en el número de aciertos), pasando de 51,6 % sin caché a 83,6 % con caché.

En las simulaciones sin el mecanismo de caché 94 de las 287 solicitudes se enviaban al

Tabla 6.6: Retardo en el descubrimiento de información utilizando caché

MIIS	4 PoAs por zona		16 PoAs por zona		36 PoAs por zona	
	con caché	Bytes	con caché	Bytes	con caché	Bytes
Std.Global	100 %	10,89 KB	100 %	11,52 KB	100 %	11,3 KB
HMIIS (sum)	–	10,89 KB	–	11,52 KB	–	11,3 KB
Zonal	51,6 %	5,62 KB	76,37 %	8,81 KB	84,01 %	9,49 KB
Local	33,26 %	3,62 KB	16,11 %	1,85 KB	10,76 %	1,22 KB
Global	15,13 %	1,65 KB	7,52 %	0,86 KB	5,23 %	0,59 KB

servidor MIIS Local y 44 de las 287 se enviaban al servidor MIIS Global. Con el mecanismo de caché se reduce el número de envíos a ambos servidores MIIS a 30 y 17, respectivamente. Se observa claramente que utilizando el mecanismo de caché las solicitudes que llegan al MIIS Local se reducen al 10,5 % y las que llegan al servidor MIIS Global al 5,9 % del total de solicitudes, disminuyendo el tráfico y la sobrecarga en el núcleo del operador y también en Internet.

El mecanismo de caché muestra también claramente los beneficios de la utilización de zonas de movilidad para la gestión de información de transiciones en escenarios con múltiples operadores.

## 6.6 Retardo de la Exploración

La fase de descubrimiento de redes vecinas es la que consume más tiempo de todo el proceso de transición. Generalmente, el usuario escucha el medio inalámbrico para comprobar si hay una red Wi-Fi en su vecindad. Este proceso de escucha se denomina exploración. El problema es que la exploración de todos los canales (13 en Europa, 11 en América del Norte y 14 en Japón) consume tanto tiempo como batería del dispositivo móvil. En un despliegue de redes Wi-Fi se espera que varios canales estén vacíos para reducir la interferencia entre puntos de acceso (AP, del inglés *Access Point*) adyacentes. Actualmente, el estándar IEEE 802.11 contempla dos métodos de exploración:

En la *exploración pasiva* el usuario escucha el medio inalámbrico para detectar las tramas de aviso. Por defecto, los AP actuales envían tramas de aviso cada 100 ms. Durante la exploración pasiva el usuario escucha cada canal, uno a uno, en un intento de localizar potenciales puntos de acceso. Así, el tiempo total de exploración pasiva no es más que el número de canales por el intervalo de tramas de aviso (100 ms). En el caso de una exploración de 11 canales el tiempo requerido es de 1.1 s.

Por su parte, la *exploración activa* funciona de la siguiente manera: cuando se detecta la necesidad de realizar una transición el usuario envía el mensaje *Probe Request* en modo difusión a todos los canales y espera respuestas *Probe Response*. Si el usuario no recibe ninguna respuesta en un intervalo *MinChannelTime*, inicia la exploración del siguiente canal de la lista. En el caso de recibir un mensaje *Probe Response* dentro del tiempo *MinChannelTime*, espera hasta un tiempo *MaxChannelTime* para recoger todas las posibles respuestas. Por tanto, el tiempo de exploración activa es bastante variable, pudiendo llegar a los 0.3 s.

Puede reducirse el retardo de la exploración si ésta se realiza selectivamente, esto es, sobre un conjunto limitado de canales, procedimiento éste conocido como exploración selectiva. A este respecto cabe señalar que pueden encontrarse diversos trabajos en la literatura centrados en la reducción de la fase de exploración de redes Wi-Fi utilizando el servidor MIIS.

[LKS09] propone un mecanismo en el que el usuario obtiene información de los canales de una determinada región consultando el servidor MIIS.

[LMKL09a] investiga la reducción del consumo de energía al realizar una exploración selectiva utilizando la información del servidor MIIS.

[KPK11] propone mejorar las prestaciones del servidor MIIS, de modo que éste pueda ofrecer información estimada del uso de los canales a través de la localización espacial y temporal con el objetivo de minimizar el retardo de la fase de exploración.

Por último, [KA11] propone el uso del servidor MIIS para que los usuarios obtengan información de los canales vecinos lo que les permitiría realizar una exploración selectiva de los APs.

Sin embargo, en estos trabajos se asume que los usuarios y los APs poseen un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, del inglés *Global Positioning System*) u otro equipo de localización geográfica con el fin de comunicarse con el servidor MIIS y obtener información de los canales utilizados por las redes vecinas.

La propuesta, denominada Exploración Wi-Fi Inteligente, se diferencia de los trabajos existentes en que el usuario puede obtener información de los canales de las redes vecinas del servidor MIIS en un área geográfica sin ningún equipo de localización.

Para reducir el retardo de la fase de exploración se especifica un mecanismo inteligente [BGVRCK11] donde se utiliza el servidor MIIS Zonal del sistema jerárquico de información de movilidad. El procedimiento es como sigue:

1. En el proceso de inicialización el usuario se conecta a una red disponible y recibe del servidor MIIS Zonal información relativa a los canales utilizados por los APs de la misma zona de movilidad.
2. Al moverse el usuario recibe un mensaje de que una nueva red ha sido detectada (ya que en las redes Wi-Fi el usuario hace una monitorización de la calidad de la señal de los APs asociados). Una vez detectado un nuevo AP comprueba la información de la zona de movilidad.
3. Si el AP detectado pertenece a la misma zona de movilidad no es necesario realizar una exploración (para comprobar la conectividad o la disponibilidad de recursos), porque el usuario ya tiene información de los canales de las redes de la misma zona (previamente proporcionada por el servidor MIIS Zonal en la fase de inicialización).
4. Si pertenece a una zona diferente de movilidad (el usuario está cruzando dos zonas), se envía un mensaje *MIH Get Information request* al servidor MIIS Zonal incluyendo el identificador del AP detectado. El servidor MIIS Zonal se pone en contacto con el servidor MIIS Zonal que contiene la información del AP detectado. Al recibir el mensaje de petición de información, el servidor MIIS Zonal responde a través del mensaje *MIH Get Information response* con una lista de los canales utilizados actualmente por los puntos de acceso de la nueva zona (a la que el usuario se está moviendo). Después de recibir la respuesta del servidor MIIS Zonal el usuario construye una lista de canales válidos.

5. Si se detecta la necesidad de una transición (por ejemplo, inminente caída de la señal), el usuario realiza una exploración selectiva de los canales previstos en (1) o en (4).

### 6.6.1 Escenario

La Figura 6.9 presenta una visión general del escenario utilizado en la simulación. Los servidores MIIS Zonal están distribuidos en el núcleo del operador. El escenario es como sigue: un número variable de zonas de movilidad y servidores MIIS Zonal (1 a 9) y un número variable de APs Wi-Fi (1 y 5) por zona de movilidad. Los canales utilizados son 1, 6 y 11. El usuario se mueve mediante el modelo de movilidad *RWP* a una velocidad de 2 m/s y con un tiempo de pausa de 2 s.

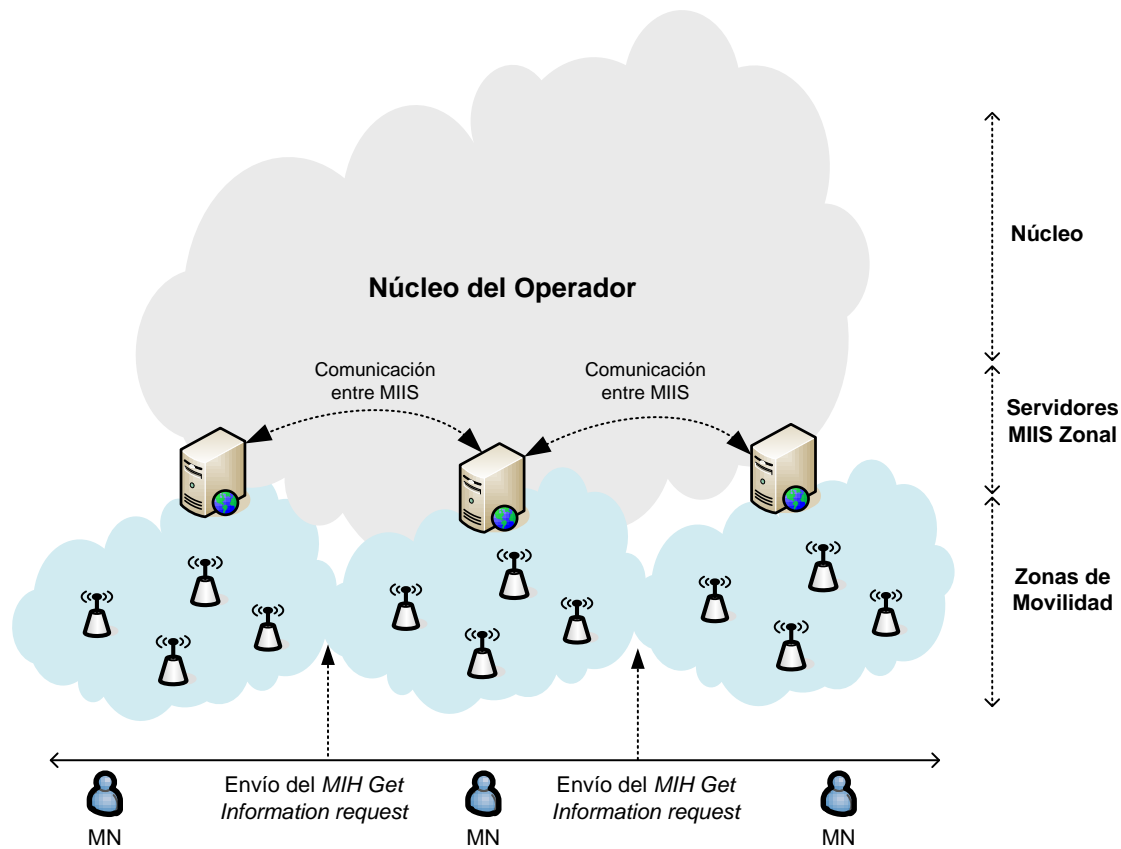


Figura 6.9: Escenario

La Tabla 6.7 muestra los parámetros de simulación utilizados.

### 6.6.2 Resultados

Se han comparado tres mecanismos de exploración, a saber:

- **Exploración Pasiva Completa (EPC):** calculado como el número de canales por el intervalo de tramas de aviso (alrededor de 100 ms). Por tanto, la exploración de 11 canales tarda aproximadamente 1.1 s. La EPC se realiza cada vez que se detecta la necesidad de una transición (por ejemplo, caída del nivel de la señal).

Tabla 6.7: Parámetros de la simulación

Parámetro	Valor
Número de zonas de movilidad	1 - 9
Número de MIIS Zonal	1 - 9
Número de PoA	1 y 5 por zona de movilidad
Rango de transmisión Wi-Fi	100 m
Canales Wi-Fi utilizados	1, 6, 11
Puntos de acceso Wi-Max	1, 4, 9
Usuarios	1
Modelo de movilidad	<i>Random Waypoint Model (RWP)</i>
Velocidad del usuario	2 m/s
Tiempo de pausa	5 s
Tiempo de simulación	3600 s

- **Exploración Activa Completa (EAC):** el usuario envía el mensaje *Probe Request* y espera el tiempo *MinChannelTime* (configurado en 17 ms). Si llega alguna respuesta el usuario espera un tiempo *MaxChannelTime* (configurado en 30 ms). Esto se hace para cada canal Wi-Fi. Por tanto, el usuario tarda 330 ms en realizar este tipo de exploración.
- **Exploración Wi-Fi Inteligente (EWI):** el usuario solicita información del servidor MIIS Zonal y solamente realiza la exploración de los canales utilizados por los APs vecinos dentro de la zona de movilidad. En este mecanismo de exploración se ha tenido en cuenta el retardo en obtener la información del servidor MIIS (que es de aproximadamente 36 ms).

En la Figura 6.10 se puede observar que la EPC es el peor esquema de exploración de redes Wi-Fi ya que el usuario tarda más de 45 s en descubrir todas las redes Wi-Fi cuando el usuario se mueve por 9 zonas diferentes de movilidad y hay 5 APs en cada zona. El retardo en la exploración es de unos 10 s si el usuario utiliza la exploración EAC para descubrir redes Wi-Fi. Utilizando el esquema propuesto (EWI), el retardo se reduce a 2.35 s aproximadamente. Si se incrementa el número de zonas y APs disminuye el rendimiento de la EPC. Los resultados de la simulación demuestran que cuanto mayor es la red (en número de zonas y APs por zona) se obtienen mejores resultados utilizando el mecanismo propuesto.

## 6.7 Síntesis del Capítulo

Este capítulo ha recogido las simulaciones realizadas considerando escenarios reales con el objeto de verificar la aplicabilidad de la propuesta. Para ello se ha utilizado el simulador de redes NS-2 [NS-].

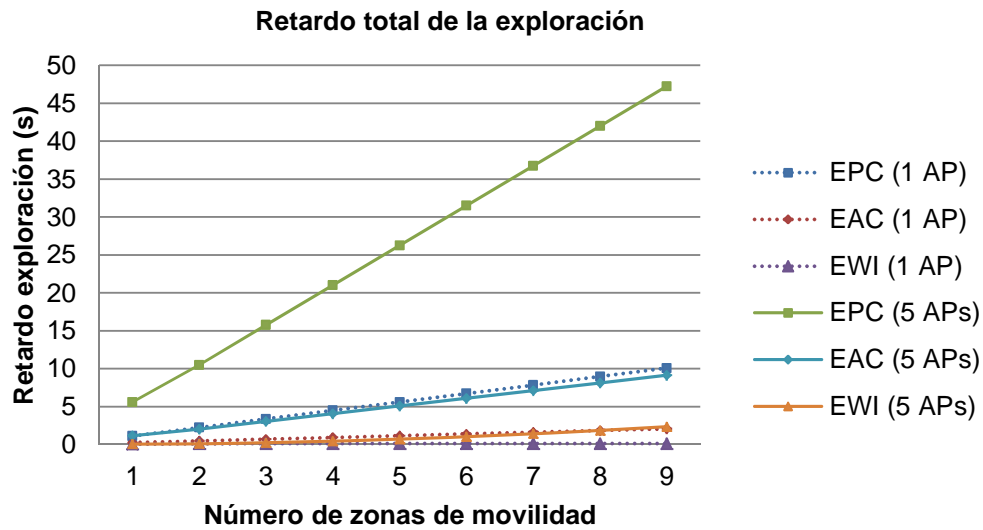


Figura 6.10: Comparativa del retardo de la exploración en redes Wi-Fi

Se han evaluado las siguientes métricas: el retardo en el descubrimiento de la información de cualquier servidor MIIS, el tiempo de transición, el rendimiento y el número de transiciones óptimas obtenidas por el usuario móvil con y sin mecanismo de caché y el retardo del barrido en redes Wi-Fi.

Dos simulaciones diferentes han mostrado la aplicabilidad y el rendimiento del sistema jerárquico de información de movilidad. En la simulación con movimiento lineal del usuario se ha visto que el usuario obtiene mejor rendimiento en el caso del MIIS Jerárquico respecto a implementaciones existentes del estándar. En la simulación con movimiento aleatorio del usuario se observa que éste obtiene un número mayor de transiciones óptimas utilizando el MIIS jerárquico que en el MIIS estándar.

Se observa que utilizando el mecanismo de caché el usuario obtiene la información de cualquier servidor MIIS con un retardo mucho menor. Por último, se ha verificado que el sistema de movilidad mejora el mecanismo de barrido de redes Wi-Fi.

Las simulaciones han comprobado que el sistema jerárquico de información de movilidad:

- Permite que el usuario tenga un servidor MIIS con la información solicitada a pocos saltos de distancia.
- Minimiza el tiempo de descubrimiento de redes de acceso en una determinada zona geográfica.
- Reduce el tiempo final de transición entre dos redes.
- Ofrece al usuario móvil un conjunto de información de movilidad que le permite tomar mejores decisiones de transición.
- Minimiza el uso de recursos y mensajes en el *backbone* de la red.



## Capítulo 7

# Conclusiones y Trabajo Futuro

Este trabajo ha abordado los principales aspectos de la especificación de un sistema de información de movilidad para redes heterogéneas incluyendo redes Wi-Fi, redes Wi-Max y redes celulares 3G.

En primer lugar se ha argumentado la necesidad de tener un servidor de información en un ambiente compuesto por varias redes pertenecientes a diferentes operadores. Tras una investigación del estado de arte se ha observado que no hay ningún estándar ni una especificación formal para la gestión de servicios de movilidad en redes de cuarta generación.

En segundo lugar se ha analizado el estándar IEEE 802.21 que optimiza el traspaso entre redes heterogéneas y cuyo objetivo principal es mejorar la experiencia del usuario facilitando la transición entre distintas redes. Se ha visto con un ejemplo cómo funciona la transición entre una red Wi-Fi y una red Wi-Max, detallando todo el intercambio de mensajes (señalización) entre las entidades de la red.

Luego se ha presentado la especificación de un sistema de información de movilidad, la principal aportación de este trabajo. El sistema se compone de diferentes servidores MIIS que están distribuidos en varios niveles de forma jerárquica. La propuesta consiste en la especificación de tres tipos de servidores de información: un MIIS Zonal que gestiona las redes de una determina zona de movilidad, un MIIS Local que atiende solamente a un operador y que permite que los usuarios se desplacen entre diferentes zonas y un servidor MIIS Global que atiende a varios operadores y redes. Además, se ha hecho una propuesta de comunicación entre varios servidores de información considerando sus posibles ubicaciones físicas dentro de un escenario con múltiples redes y operadores. La idea de dividir las redes de acceso en zonas de movilidad y que éstas sean gestionadas por diferentes servidores MIIS permite al usuario móvil hacer mejores transiciones tanto en lo que se refiere a la calidad de las mismas como al retardo total de la transición.

Posteriormente, se ha especificado un mecanismo de caché para el sistema de servidores MIIS. El mecanismo contempla la instalación de una caché en cada uno de los diferentes tipos de servidor MIIS, además de una caché local en el usuario móvil. El objetivo es reducir el número de mensajes y el retardo en la comunicación entre el usuario y el servidor MIIS. Así, el usuario descubre la información de los puntos de acceso de forma más rápida y, consecuentemente, reduce el tiempo final de la transición.

Finalmente, se han realizado diversas simulaciones en NS-2 con el objetivo de comprobar que la propuesta mejora las anteriores. En la simulación se ha verificado que utilizando el sistema jerárquico de información de movilidad el usuario no sólo obtiene una respuesta más rápida sino también de mejor calidad, ya que el usuario obtiene información de los puntos de acceso de su zona de cobertura. Al utilizar la caché se ha conseguido reducir aún



más el tiempo de comunicación entre el usuario y el servidor MIIS. Asimismo, al contemplar movimientos aleatorios en la simulación puede concluirse que el sistema jerárquico de información de movilidad puede utilizarse en escenarios complejos con gran número de operadores, puntos de acceso, zonas de movilidad y tecnologías de redes de acceso.

## 7.1 Trabajos Futuros

Aunque el sistema jerárquico de información de movilidad ofrezca un robusto y eficaz sistema de almacenamiento de información de transición, muchas son las cuestiones que pueden plantearse. Las principales líneas de investigación que se derivan del presente trabajo son:

- **Mecanismo de seguridad:** en un escenario con múltiples operadores compartiendo información es imprescindible que haya un mecanismo de seguridad que permita a un operador ofrecer información adecuada al usuario. Un servidor MIIS de un operador debe saber qué información ofrecer a otro, ya que ofreciendo demasiada información el usuario puede abandonar el operador e irse a otro, y por otro lado, ofreciendo escasa información puede resultar en una transición ineficiente. En [SBRCGV11] se ha empezado a trabajar en un mecanismo de seguridad para el sistema jerárquico de información de movilidad. En este mecanismo se puede utilizar, por ejemplo, el protocolo MPA (de inglés *Media Independent Pre-Authentication*) [DFD<sup>+</sup>08].
- **Comunicación entre operadores:** aunque se ha especificado un modelo de acuerdo de servicio entre servidores MIIS que permite que haya comunicación entre dos servidores MIIS de diferentes operadores resulta necesaria la especificación de un completo sistema de comunicación entre operadores y dominios, sobre todo en redes de cuarta generación, incluyendo una gran variedad de entidades de red.
- **Especificación de una arquitectura distribuida de servidores MIIS:** en [BGVRCK11] se ha empezado a trabajar en una arquitectura distribuida de servidores MIIS donde no hay un modelo de jerarquía y todos los servidores están a un mismo nivel dentro de la red. Este modelo funciona bien para un único operador, pero si se trabaja con transiciones entre operadores el sistema necesita interactuar con entidades superiores (como los servidores de autenticación y servidores de control de credenciales de usuarios).
- **Integración con redes de distribución de contenido.** Las redes de distribución de contenido, abreviadamente CDN (*Content Distribution Networks*) son un conjunto de servidores que contienen copias de una misma serie de contenidos (imágenes, vídeos, documentos, etc.) y que están ubicados en diversos puntos de una red para poder servir sus contenidos de manera más eficiente. Básicamente, esa mayor eficiencia se consigue mediante el balanceo de carga entre los servidores que forman parte del sistema y por su capacidad para servir los contenidos desde el servidor más cercano a cada cliente [VP03].
- **Integración con protocolos de movilidad:** el sistema jerárquico de información de movilidad podría beneficiarse de una posible integración y validación con diferentes protocolos de movilidad como IP Móvil [PRP02] , IPv6 Jerárquico [SCMB08], IP Móvil Rápido [Koo08], etc.

# Bibliografía

- [3GP04] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Network Sharing; Architecture and Functional Description; (Release 6), December 2004.
- [3GP06] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network Architecture, March 2006.
- [BGV08] F. Buiati and L. J. García-Villalba. Localización de Servicios de Información en Redes 4G. In *Actas del XXIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, Madrid, España, September 2008.
- [BGVC<sup>+</sup>10] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, and R. L. Aguiar. Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization. *IEEE Communications Letters*, 14(11):1020–1022, November 2010.
- [BGVC<sup>+</sup>11] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Corujo, S. Sargento, and R. L. Aguiar. IEEE 802.21 Information Services Deployment for Heterogeneous Mobile Environments. *IET Communications*, 5(18):2721–2729, December 2011.
- [BGVRCK11] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Rupérez-Cañas, and T. Kim. Improving the Wi-Fi Channel Scanning Using a Decentralized IEEE 802.21 Information Service. In *Proceedings of the International Conference on Multimedia, Computer Graphics and Broadcasting, Part II*, volume 263 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 290–294, Jeju Island, Korea, December 2011.
- [BKS<sup>+</sup>08] J. Baek, D. Kim, Y. Suh, E. Hwang, and Y. Chung. Network-Initiated Handover Based on IEEE 802.21 Framework for QoS Service Continuity in UMTS/802.16e Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2157–2161, Singapore, May 2008.
- [BL07] F. Bari and V. Leung. Automated Network Selection in a Heterogeneous Wireless Network Environment. *IEEE Network*, 21(1):34–40, January 2007.
- [BS05] C. Beckman and G. Smith. Shared Networks: Making Wireless Communication Affordable. *IEEE Wireless Communications*, 12(2):78–85, April 2005.
- [BSRCGV11] F. Buiati, I. Saadat, D. Rupérez-Cañas, and L. J. García-Villalba. IEEE 802.21 Information Service: Features and Implementation Issues. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology*, Amman, Jordan, May 2011.
- [CDN<sup>+</sup>96] A. Chankhunthod, P. B. Danzig, C. Neerdaels, M. F. Schwartz, and K. J. Worrell. A Hierarchical Internet Object Cache. In *Proceedings of the 1996 Annual Conference on Usenix Annual Technical Conference*, pages 153–164, November 1996.
- [CIRG09] C. K. Christakos, A. Izquierdo, R. Rouil, and N. Golmie. Using the Media Independent Information Service to Support Mobile Authentication in Fast Mobile IPv6. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 2091–2096, April 2009.

- [CV06] F. Cacace and L. Voller. Managing Mobility and Adaptation in Upcoming 802.21 Enabled Devices. In *Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots*, pages 1–10, Los Angeles, California, USA, September 2006.
- [DFD<sup>+</sup>08] A. Dutta, D. Famolari, S. Das, Y. Ohba, V. Fajardo, K. Taniuchi, R. López, and H. Schulzrinne. Media-Independent Pre-Authentication Supporting Secure Interdomain Handover Optimization. *IEEE Wireless Communications*, 15(2):55–64, April 2008.
- [dlOBS<sup>+</sup>08] A. de la Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia, and A. Vidal. An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services. *IEEE Wireless Communications*, 15(4):96–103, August 2008.
- [FCL<sup>+</sup>07] J. Floroiu, M. Corici, B.J. Lee, S. Lee, S. Arbanowski, and T. Magedanz. A Vertical Handover Architecture for End-to-End Service Optimization. In *Proceedings of the 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit*, pages 1–5, Budapest, Hungary, July 2007.
- [FTLA08] T. Frisanco, P. Tafertshofer, P. Lurin, and R. Ang. Infrastructure Sharing and Shared Operations for Mobile Network Operators: From a Deployment and Operations View. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, pages 2193–2200, Beijing, China, May 2008.
- [GJ03] E. Gustafsson and A. Jonsson. Always Best Connected. *IEEE Wireless Communications*, 10(1):49–55, February 2003.
- [GLD<sup>+</sup>08] Ed. S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. Proxy Mobile IPv6. Internet Engineering Task Force, RFC 5213, August 2008.
- [GPH<sup>+</sup>07] R. Giaffreda, K. Pentikousis, E. Hepworth, R. Agüero, and A. Galis. An Information Service Infrastructure for Ambient Networks. In *Proceedings of the IASTED International Multi-Conference: Parallel and Distributed Computing and Networks*, pages 21–27, Innsbruck, Austria, February 2007.
- [GRG09] D. Griffith, R. Rouil, and N. Golmie. Performance Metrics for IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) Signaling. *Wireless Personal Communications*, 52(3):537–567, March 2009.
- [HJM04] J. Hultell, K. Johansson, and J. Markendahl. Business Models and Resource Management for Shared Wireless Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, volume 5, pages 3393–3397, Los Angeles, California, USA, September 2004.
- [IEE99] IEEE Standard 802.11-1997 Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, in IEEE Std 802.11-1997, 1997, pp. i-445. IEEE Standard 802.11, June 1999.
- [IEE05] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. IEEE 802.16e-2005, 2005.
- [IEE08a] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs, June 2008.

- [IEE08b] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11: Wireless Lan Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Fast Basic Service set (BSS), July 2008.
- [IEE09] IEEE 802.21, Standard, Local and Metropolitan Area Networks Part 21: Media Independent Handover Services, January 2009.
- [JH97] D. P. John and J. Harrison. A Distributed Internet Cache. In *Proceedings of the Australian Computer Science Conference*, pages 5–7, Sidney, Australia, February 1997.
- [JM04] M. Kojo J. Manner. Mobility Related Terminology. Internet Engineering Task Force, RFC 7753, June 2004.
- [JPA04] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. Mobility Support in IPv6. Internet Engineering Task Force, RFC 3775, June 2004.
- [KA11] M. Q. Khan and S. H. Andresen. An Intelligent Scan Mechanism for 802.11 Networks by Using Media Independent Information Server. In *Proceedings of the IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pages 221–225, Biopolis, Singapore, March 2011.
- [KO06a] D. Kutscher and J. Ott. Enhancing User Mobility with Network Service Maps. In *Proceedings of the Terena Networking Conference*, Catania, Italy, May 2006.
- [KO06b] D. Kutscher and J. Ott. Service Maps for Heterogeneous Network Environments. In *Proceedings of the International Conference on Mobile Data Management*, page 27, Nara, Japan, May 2006.
- [Koo08] R. Koodli. Mobile IPv6 Fast Handovers. Internet Engineering Task Force, RFC 5568, June 2008.
- [KPKP11] Y. Kim, S. Pack, C. Kang, and S. Park. An Enhanced Information Server for Seamless Vertical Handover in IEEE 802.21 MIH Networks. *Computer Networks*, 55(1):147–158, January 2011.
- [LKSW09] W.S. Lim, D.W. Kim, Y.J Suh, and J.J. Won. Implementation and Performance Study of IEEE 802.21 in Integrated IEEE 802.11/802.16e Networks. *Computer Networks*, 32(1):134–143, January 2009.
- [LMKL09a] H. Liu, C. Maciocco, V. Kesavan, and A. L. Y. Low. Energy Efficient Network Selection and Seamless Handovers in Mixed Networks. In *Proceedings of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops*, pages 1–9, Kos, Greece, June 2009.
- [LMKL09b] H. Liu, C. Maciocco, V. Kesavan, and A. L. Y. Low. IEEE 802.21 Assisted Seamless and Energy Efficient Handovers in Mixed Networks. In *Proceedings of International ICST Conference on Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications*, volume 7 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 27–42, Berlin, Germany, April 2009.
- [LSN10] G. Lampropoulos, C. Skianis, and P. Neves. Optimized Fusion of Heterogeneous Wireless Networks Based on Media-Independent Handover Operations. *IEEE Wireless Communications*, 17(4):78–87, August 2010.
- [LSP08] G. Lampropoulos, A.K. Salkintzis, and N. Passas. Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(1):64–71, January 2008.
- [LTE08] UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE), 2008.

- [MCdlO<sup>+</sup>07] T. Melia, D. Corujo, A. de la Oliva, A. Vidal, R. L. Aguiar, and I. Soto. Impact of Heterogeneous Network Controlled Handovers on Multi-Mode Mobile Device Design. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference*, pages 3884–3889, Kowloon, Hong-Kong, March 2007.
- [MRG11] D.E. Meddour, T. Rasheed, and Y. Gourhant. On the Role of Infrastructure Sharing for Mobile Network Operators in Emerging Markets. *Computer Networks*, 55(7):1576–1591, May 2011.
- [MYNF07] B. Q. Mussabbir, W. Yao, Z. Niu, and Z. Fu. Optimized FMIPv6 Using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3397–3407, November 2007.
- [NH07] D. Niyato and E. Hossain. Integration of Wi-Max and Wi-Fi: Optimal Pricing for Bandwidth Sharing. *IEEE Communications Magazine*, 45(5):140–146, June 2007.
- [NHH06] N. Nasser, A. Hasswa, and H. Hassanein. Handoffs in Fourth Generation Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(10):96–103, October 2006.
- [Nis07] The National Institute of Standard and Technologies, Mobility Package for Network Simulator 2, <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/>, May 2007.
- [NS-] The Network Simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [NSS<sup>+</sup>11] P. Neves, J. Soares, S. Sargento, H. Pires, and F. Fonte. Context-aware Media Independent Information Server for Optimized Seamless Handover Procedures. *Computer Networks*, 55(7):1498–1519, May 2011.
- [NW06] E. S. Navarro and V. W. S. Wong. Comparison Between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks. In *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, Melbourne, Australia, May 2006.
- [ODT] Open Dot Twenty One IEEE 802.21 Implementation, <http://hng.av.it.pt/projects/odtone>.
- [Ope] Open MIH, <http://sourceforge.net/projects/openmih>.
- [PAG<sup>+</sup>07] K. Pentikousis, R. Agüero, R. Giaffreda, A. Galis, and E. Hepworth. Information Management for Dynamic Networks, Computing in the Global Information Technology. In *Proceedings of the International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology*, page 43, Guadeloupe, French Caribbean, March 2007.
- [Pos81a] J. Postel. Internet Protocol. Internet Engineering Task Force, RFC 791, September 1981.
- [Pos81b] J. Postel. Transmission Control Protocol, Internet Engineering Task Force, RFC 793, September 1981.
- [PRP02] B. Patil, P. Roberts, and C. E. Perkins. IP Mobility Support for IPv4. Internet Engineering Task Force, RFC 3344, August 2002.
- [PSJ<sup>+</sup>08] A. Pontes, D. P. Silva, J. Jailton, O. Rodrigues, and K. L. Dias. Handover Management in Integrated WLAN and Mobile WiMAX Networks. *IEEE Wireless Communications*, 15(5):86–95, October 2008.
- [RS02] M. Rabinovich and O. Spatscheck. *Web Caching and Replication*. Addison-Wesley, 2002.
- [RSB01] P. Rodríguez, C. Spanner, and E. W. Biersack. Analysis of Web Caching Architectures: Hierarchical and Distributed Caching. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 9:404–418, 2001.
- [SBRCGV11] I. Saadat, F. Buiati, D. Rupérez-Cañas, and L. J. García-Villalba. Overview of IEEE 802.21 Security Issues for MIH Networks. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology*, Amman, Jordan, May 2011.

- [SC07] J. H. Seol and J. M. Chung. IEEE 802.21 MIH Based Handover for Next Generation Mobile Communication Systems. In *Proceedings of the International Conference on Innovations in Information Technology*, pages 431–435, Dubai, United Arab Emirates, November 2007.
- [SCMB08] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6). Internet Engineering Task Force RFC 5380. Internet Requests for Comment, August 2008.
- [SJ05] Q. Song and A. Jamalipour. Network Selection in an Integrated Wireless LAN and UMTS Environment Using Mathematical Modeling and Computing Techniques. *IEEE Wireless Communications*, 12(3):42–48, 2005.
- [SQG05] K. Sood, E. H. Qi, and V. G. Gupta. Seamless Platform Mobility Across Wireless Networks. White Paper, Intel, September 2005.
- [TOF<sup>+</sup>09] K. Taniuchi, Y. Ohba, V. Fajardo, S. Das, M. Tauil, Y. H. Cheng, A. Dutta, D. Baker, M. Yajnik, and D. Famolari. IEEE 802.21: Media independent handover: Features, Applicability, and Realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120, 2009.
- [VIE11] K. De Vogeleer, S. Ickin, and D. Eрман. A Decentralized Information Service for IEEE 802.21 - Media Independent Handover (MIH). IEEE Groups, 2011.
- [VP03] A. Vakali and G. Pallis. Content Delivery Networks: Status and Trends. *IEEE Internet Computing*, 7(6):68–74, November 2003.
- [WC97] D. Wessels and K. Claffy. Internet Cache Protocol (ICP), version 2. Internet Engineering Task Force, RFC 2186, September 1997.
- [WCCH06] M. Wu, Y. Chen, T. Chung, and C. Hsu. A Profile-Based Network Selection with MIH Information Service. In *Proceedings of the International Conference on Supercomputing*, Samos Island, Greece, August 2006.
- [YCG10] S. J. Yoo, D. Cypher, and N. Golmie. Timely Effective Handover Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks. *Wireless Personal Communications*, 52(3):449–475, 2010.
- [YYJP08] W. Ying, Z. Yun, Y. Jun, and Z. Ping. An Enhanced Media Independent Handover Framework for Heterogeneous Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2306–2310, Barcelona, Spain, May 2008.



## Parte II

### Anexo: Publicaciones





# Lista de Publicaciones

A continuación se muestran las publicaciones que han resultado de la realización de esta Tesis Doctoral

- Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba. Localización de Servidores de Información en Redes de Cuarta Generación (4G). *Actas del XXIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2008)*, Madrid, España, Septiembre 2008.
- Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Daniel Corujo, João Soares, Susana Sargento, Rui L. Aguiar. Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization. *IEEE Communications Letters*, 14(11):1020–1022, November 2010.
- Fábio Buiati, Ismail Saadat, Delfín Rupérez Cañas, Luis Javier García Villalba. IEEE 802.21 Information Service: Features and Implementation Issues. *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology (ICIT 2011)*, Amman, Jordan, May 2011.
- Ismail Saadat, Fábio Buiati, Delfín Rupérez Cañas, Luis Javier García Villalba. Overview of IEEE 802.21 Security Issues for MIH Networks. *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology (ICIT 2011)*, Amman, Jordan, May 2011.
- Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Delfín Rupérez Cañas, Tai-hoon Kim. Improving the Wi-Fi Channel Scanning Using a Decentralized IEEE 802.21 Information Service. *Proceedings of the International Conference on Multimedia, Computer Graphics and Broadcasting (MulGraB 2011), Part II, volume 263 of Communications in Computer and Information Science (CCIS)*, pages 290–294, Jeju Island, Korea, December 2011.
- Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Daniel Corujo, Susana Sargento, Rui L. Aguiar. IEEE 802.21 Information Services Deployment for Heterogeneous Mobile Environments. *IET Communications*, 5(18):2721–2729, December 2011.
- Daniel Espino García, Roberto González de Armas, Jesús Puente Fernández, Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba. Servidor de Información IEEE 802.21 Dinámico con Arquitectura de Malla para Redes Heterogéneas. Aceptado en *Actas del XXVII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2012)*, Elche, España, Septiembre 2012.
- Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Delfín Rupérez Cañas, Tai-hoon Kim. Intelligent Wi-Fi discovery Scheme Based on IEEE 802.21 Decentralized Information Service. Aceptado en *Special Issue of the Third International Mega-Conference on Future Generation Information Technology*, 2012.



# LOCALIZACIÓN DE SERVICIOS DE INFORMACIÓN EN REDES 4G

Fábio Mesquita Buiati, Luis Javier García Villalba  
Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS)  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática, Despacho 431  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
C/ Profesor José García Santesmases s/n  
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid  
E-mail: [fabio.javiervg@fdi.ucm.es](mailto:fabio.javiervg@fdi.ucm.es)  
<http://gass.ucm.es>

*Abstract-* The next generation of the wireless networks terminals is expected to support multiple wireless radio access networks as Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max, GSM and UMTS, in which users can maintain the connections when they switch from one network to another, in seamlessly manner. Supporting this seamless handover in heterogeneous networks requires several constraints to be considered such as radio signal strength, coverage, security, QoS, user policies, cost, etc. In order to store this information from several networks, the IEEE 802.21 specifies a Media Independent Information Service (MIIS) that support various Information Elements providing network information within a geographical area, focusing on the optimization of handover process. The main challenge is how the mobile node discovers the Information Server, mainly if there are multiples networks and operators. In this paper, the focal point is to specify a communication model framework for Information Server location in heterogeneous networks.

## I. INTRODUCCIÓN

Con la proliferación de hotspots Wi-Fi 802.11 [1], el despliegue de Wi-Max 802.16 [2] y el alcance mundial de la tecnología móvil 3G [3], la posibilidad de movilidad de transporte de datos entre todas las tecnologías inalámbricas es una realidad y un gran reto. Los nuevos dispositivos móviles estarán equipados con varias interfaces de radio que les permitirán asociarse con las diferentes redes de distintos operadores.

En este entorno heterogéneo, los nodos móviles (MN) deben ser capaces de descubrir qué tipos de conectividad de red están disponibles para ellos. Básicamente, tres son las alternativas disponibles para obtener información de redes: (1) El MN escucha el medio inalámbrico y obtiene informaciones de las redes a través de las tramas de aviso de las redes, como la trama beacon en las redes Wi-Fi y las tramas UCD en redes Wi-Max; (2) Los MN son manualmente configurados con informaciones estáticas de las redes vecinas y (3) el MN podrá consultar un servidor de información de redes dentro de la red o fuera.

Las tres alternativas poseen sus ventajas e inconvenientes. La solución (1) es una solución muy

práctica pero poco flexible ya que la red debe estar en el rango de cobertura del nodo móvil. Además, hacer el escaneo de redes utilizando múltiples interfaces dispara el consumo de batería de los dispositivos móviles. Por otro lado, la alternativa (2) propone la configuración manual de los nodos móviles con las informaciones de las redes vecinas. Esta solución tiene más inconvenientes que ventajas por varios factores: la información nunca reflejará la actualidad de las configuraciones de las redes, es necesario un mecanismo automático de distribución de estas informaciones cuando nos referimos a millares de nodos y un mecanismo de almacenamiento de informaciones es necesario. Por último, la alternativa (3) resuelve los problemas anteriormente citados y posee ventajas ya que al tener un servidor global de las informaciones de las redes, permitirá al nodo móvil preparar la transición entre las distintas redes con antelación.

Servidores de Información de servicios de redes (IS<sup>1</sup>) pueden ser utilizados para ayudar en la transición entre redes que pertenecen a la misma o a diferentes dominios y operadores. El principal objetivo de la utilización del Servidor de Información es permitir al nodo móvil adquirir una visión global de todas las informaciones de las redes en la zona para facilitar la transición continuada a través de estas redes.

El estándar IEEE 802.21 [4] está trabajando en la normalización de Servicio de Informaciones Independiente del Medio (MIIS<sup>2</sup>) que proporciona la capacidad de obtener información sobre las capas inferiores, como la seguridad, QoS y coste, así como las informaciones de las capas superiores como dirección IP y protocolos de movilidad.

Así como el estándar 802.21, hay algunos trabajos que tratan de la especificación de servicios de información. Sin embargo, ninguno de ellos especifica el mecanismo de descubrimiento de estos servicios ni la localización de los servidores de información. Por lo tanto, en este trabajo,

---

<sup>1</sup> Del ingles, Information Server

<sup>2</sup> Del ingles, Media Independent Information Service

nuestra principal contribución es la especificación de un mecanismo de descubrimiento del servidor de información y el intercambio de mensajes entre los elementos de la red.

Este artículo se organiza de la siguiente manera. Sección 2 introduce los trabajos correspondientes. Algunas funcionalidades de la norma IEEE 802.21 se examinan en la sección 3, principalmente en cuanto a los servicios de información. En la sección 4, el núcleo de este trabajo, hablamos de los sistemas de descubrimiento de servidores de información considerando múltiples dominios. A continuación, la sección 5 concluye este trabajo con algunas consideraciones finales y abre temas para futuras obras.

## II. TRABAJO RELACIONADO

Actualmente, los IS son desarrollados con distintas finalidades. Según el estándar IEEE 802.21 [4], los IS tienen el objetivo de evitar interrupciones y pérdidas de comunicación cuando el MN hace una transición entre dos redes, sea del mismo tipo o de tecnologías diferentes. El estándar define un conjunto de servicios conocidos como Servicio de Informaciones Independiente del Medio (MIIS) que permiten a los MN obtener una visión general de las redes y facilita la decisión de hacer la transición basándose en características como políticas del usuario, coste, QoS, etc. El MIIS permite que los MN puedan acceder a las informaciones no solo en capa de enlace, sino que también en capa de red, es decir, que el MN puede obtener informaciones de otras redes aunque éstas estén en otra red o subredes. Sin embargo, el IEEE 802.21 no considera cuestiones como: mecanismo de transporte de las informaciones; la localización física de los IS y las informaciones que deben poseer los IS.

El trabajo de Kutscher [5] define un mapa de servicios para servidores de información en redes heterogéneas. Los autores especifican un modelo de datos donde las informaciones pueden ser recuperadas a través del mecanismo de pregunta / respuesta. El formato de datos elegido para almacenamiento de las informaciones es el XML. Características como localización del IS y múltiples dominios no fueron consideradas.

Bajko et al [6] detallan un mecanismo de localización de los IS utilizando el protocolo DHCP. Como se trata de una Internet Draft, el trabajo todavía está en desarrollo y necesita aprobación por parte de los investigadores. El trabajo [7] enumera una serie de necesidades que se debe tener al desarrollar un IS, así como mecanismos de transporte de informaciones y aspectos de seguridad. Además, los autores hacen mención a localización de los IS utilizando los protocolos DHCP y DNS.

Las soluciones existentes contemplan varias características para el desarrollo de un IS. Sin embargo, este trabajo tiene las siguientes innovaciones en cuanto a las propuestas comentadas anteriormente:

- Especificación de un mecanismo de localización de los IS, considerando múltiples dominios y múltiples operadores.
- Localización física del IS dentro de propia red o en redes vecinas;
- Especificación de elementos de información para distintos IS.

## III. IEEE 802.21

El estándar IEEE 802.21 [4] proporciona inteligencia de capa de enlace y otras informaciones de red relacionadas a las capas superiores para optimizar la transición entre redes heterogéneas. Estas redes pueden ser las redes 3GPP, 3GPP2 y las redes cableadas e inalámbricas pertenecientes a la familia IEEE 802 (802.3 - Ethernet, 802.11 - Wi-Fi, 802.15 - Bluetooth, 802.16 - Wi-Max).

El objetivo principal del estándar IEEE 802.21 es mejorar la experiencia del usuario y facilitar la transición entre distintas redes de comunicación. El estándar soporta transición tanto para nodos móviles como para nodos fijos. Para los nodos móviles, la transición puede ocurrir debido a cambios en las condiciones del enlace inalámbrico. Por otra parte, los nodos fijos pueden solicitar la transición cuando haya una red más atractiva que la otra, que puede estar relacionado con el ancho de banda, con el coste, QoS y con seguridad. Para ofrecer transición entre redes heterogéneas, el estándar posee los siguientes componentes, que pueden ser vistos en la Figura 1:

- Una arquitectura que permite a un nodo móvil moverse entre distintas redes (diferentes capas de enlace) sin pérdida de conectividad. Esta arquitectura es conocida como Transición Independiente del Medio (MIH<sup>1</sup>).
- Un conjunto de funciones dentro de la entidad de gestión de movilidad de los elementos de la red, conocido como Función MIH (MIHF). El MIHF es la principal entidad de la arquitectura ya que controla todo el tráfico de informaciones del protocolo.
- Servicio de Eventos (MIES): son servicios que detectan cambios en las propiedades de la capa física y de enlace e dispara eventos que son enviados para la función MIH. Estos eventos pueden ser generados tanto en el MIH local cuanto en MIH remotos. Un ejemplo de un servicio de evento es el nivel de recepción de la señal por parte de un nodo móvil. Cuando la señal empieza a ponerse débil, la capa de enlace envía un evento para la función MIH. Basándose en esta información, el nodo móvil cambia la conexión para una red que tenga mayor señal de recepción.
- Servicio de Comandos (MICS): son un conjunto de comandos que permiten a los usuarios MIH controlar, configurar y obtener informaciones de las capas inferiores incluyendo la capa MAC y la capa PHY. Como ejemplo, se puede citar el comando "Link Get Parameters" que permite a los usuarios MIH descubrir informaciones de la interfaz activa como la relación señal ruido, tasa de errores, nivel de recepción de la señal, etc.
- Servicio de Información (MIIS): ofrece una arquitectura con mecanismos que permiten a una función MIH descubrir y obtener informaciones de las redes existentes dentro de un área geográfica. Se puede imaginar el servicio de información como una base de datos que almacena las informaciones de las redes como: tipo de red, frecuencia utilizada, seguridad, coste

---

<sup>1</sup> Del inglés, Media Independent Handover

del servicio, velocidad de transmisión, configuraciones IP, etc.

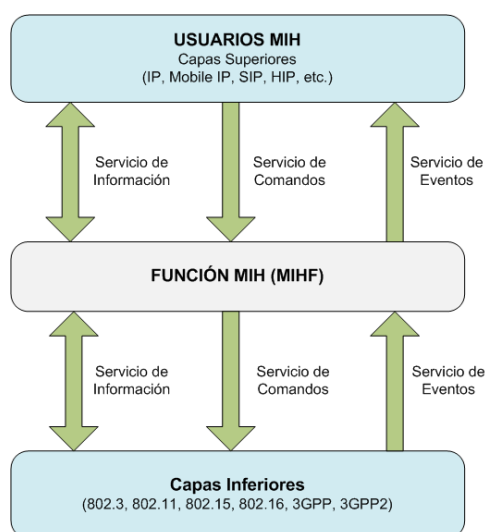


Fig. 1. Arquitectura General del Estándar IEEE 802.21.

#### A. Servicios de Información Independiente del Medio

El servicio de información (MIIS) soporta una gran variedad de elementos de información (IEs). Los IEs ofrecen al nodo móvil una serie de informaciones que ayudan al nodo a elegir la mejor red. Además, el MIIS ofrece una estructura de información y comunicación que permite la transmisión de estas informaciones a través de mecanismos como pregunta/respuesta y suscripción/notificación. El modelo de comunicación del MIIS contrasta con el modelo de comunicación del MIES y MICS que funcionan de forma asíncrona, es decir, es una comunicación unilateral.

El gran reto de este trabajo es justamente descubrir dónde está la información que ayuda a los nodos a hacer la transición entre redes. El estándar especifica un servidor de información que contiene las informaciones de las redes divididas en categorías. Este servidor puede estar en la red local, en la red vecina o en una red a varios saltos del nodo. La especificación de este servidor, su funcionamiento, su estructura de almacenamiento, su forma de catalogar la información y formas de acceso al servidor no están especificados en el estándar.

Los nodos pueden ganar acceso a la información tanto por la capa de enlace (L2) cuanto por la capa de red (L3). Utilizando la capa de enlace, el nodo puede acceder a la información utilizando puertos seguros o no seguros. Al utilizar puertos seguros, implica que el nodo tiene que autenticarse mediante al servidor para obtener las informaciones. Esta autenticación se da a través del uso de certificados digitales o mediante usuario y contraseña. En el caso de que el nodo utilice un puerto no seguro, él tiene acceso directo a toda la información del servidor de información sin la necesidad de identificarse.

Para ejemplificar el funcionamiento del MIIS, imaginemos el siguiente escenario. El MIIS permite que las informaciones sean accesibles de cualquier nodo independiente de la tecnología. Así, si tenemos un nodo móvil con la interfaz de red Wi-Fi, el MIIS permite a este nodo conocer informaciones no sólo de las redes Wi-Fi sino que también otras redes como Wi-Max y 3G. De la misma

manera, un nodo móvil con una interfaz 3G puede adquirir informaciones de redes Wi-Fi, Wi-Max y 3G. Esta aptitud de conocer informaciones de otras redes, permite a un nodo móvil utilizar su interfaz de red activa para descubrir informaciones de otras tecnologías. El gran beneficio de esta metodología es evitar que el nodo tenga que activar una interfaz de red solamente para descubrir servicios y redes en la vecindad, lo que resulta en ahorro de energía y procesamiento.

Las informaciones de las redes son conocidas como elementos de información (IEs) y son divididos en tres grupos, como se puede ver en la Figura 2. Abajo, se muestra las principales características de cada grupo:

- **Información General e Información Específica de cada red de acceso:** Estos elementos de información contienen información general de las diferentes redes que estén en el rango de cobertura. Por ejemplo, una lista de las redes disponibles y sus correspondientes operadores, acuerdos de roaming entre distintos operadores, el costo de la conexión a la red y la seguridad de la red y la calidad del servicio son algunas de las informaciones que son almacenadas en este grupo de información.
- **Información Específica del punto de conexión:** Estos elementos de información proporcionan información sobre diferentes puntos de conexión (PoA) de cada una de las redes de acceso disponibles. Estos incluyen informaciones como las configuraciones de red de un PoA, su ubicación, velocidades de transmisión soportadas, el tipo de capas física y de enlace y parámetros de los canales. En este grupo de elementos de información, también están incluidos los servicios de capa superior y capacidades individuales de cada PoA.
- **Otras informaciones:** Este grupo de elementos de información soporta informaciones específicas de las redes de acceso, sus servicios específicos e informaciones propietarias de los fabricantes / vendedores.

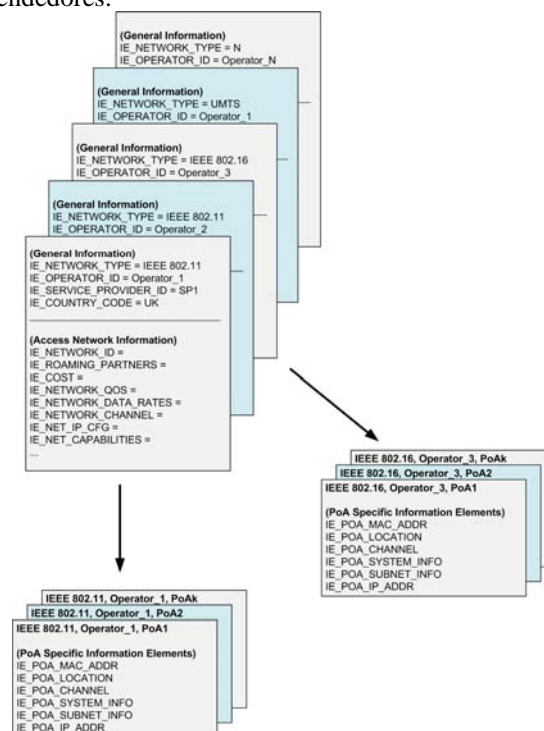


Fig. 2. Elementos de Información de un IS.

#### IV. DESCUBRIMIENTO DEL IS

Para que un nodo pueda utilizar las informaciones del IS, la primera tarea es encontrar la localización física del mismo. La solución propuesta en este trabajo permite a un MN la localización del servidor dentro de la misma red o en una red vecina, lo que conlleva en la utilización de tecnologías de capa de red. En la Figura 3, se puede ver el intercambio de mensajes entre el MN y el IS (también nombrado como MoS).

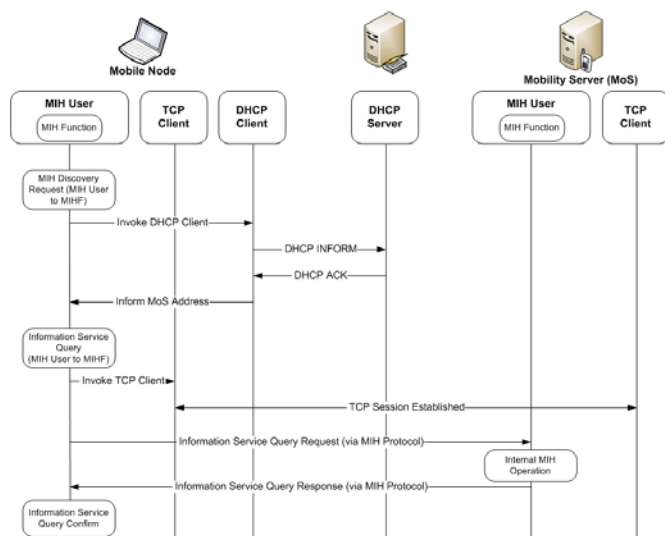


Fig. 3. Intercambio de mensajes entre un MN y un IS.

El intercambio de mensajes para la localización del IS cuenta con la participación del MN, del servidor DHCP de la red y del IS. De forma resumida, los mensajes realizan las siguientes tareas:

1. El MN envía un mensaje "DHCP Inform" al servidor DHCP de la red preguntando por las configuraciones del IS. El servidor contesta con un "DHCP Ack" conteniendo la dirección IP o la dirección MAC del IS.
2. Al conocer las configuraciones del servidor IS, el MN establece una conexión TCP con el servidor.
3. Una vez que estén conectados el MN y el IS, el MN puede solicitar las informaciones de las redes vecinas. Estas informaciones son los elementos de información descritos en la Figura 2.

Se debe hacer algunas consideraciones en cuanto a lo que se refiere a los elementos de información obtenidos por el MN. Obviamente, un operador de telecomunicaciones no va ofrecer informaciones confidenciales de sus redes a otros operadores, como coste de conexión, configuraciones IP, etc. De esta forma, acuerdos entre operadores deben existir para que el servidor de informaciones tenga una base de datos con múltiples operadores.

También, como se ha descrito en el apartado II, las informaciones de los servidores de información son estáticas y en el caso de que el MN quiera más informaciones de una red o de un operador, éstas deben ser solicitadas directamente

con la proveedora de servicios. Por esto, un IS únicamente tendrá informaciones de alto nivel como nombre de la red, operador, tecnología utilizada (Wi-Fi, Wi-Max o 3G), y código del país. En el caso de que haya acuerdo entre operadores, un IS puede tener informaciones como configuraciones IP, coste, QoS y seguridad.

#### V. CONCLUSIONES

En este documento un mecanismo de localización de servidores de información (IS) que funciona en múltiples redes y operadores a través del uso del protocolo DHCP.

También se ha comentado qué informaciones debe tener un IS. Para que se tenga una base de datos con la mayor cantidad de informaciones, un acuerdo entre varios operadores debe existir.

Como trabajo futuro, se está realizando la simulación de localización del servidor de informaciones considerando diferentes escenarios.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación que les brinda el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Proyecto TEC2007-67129/TCM y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del Proyecto Avanza I+D TSI-020100-2008-365. Este trabajo también cuenta con el apoyo del Programa Alban, programa de becas de alto nivel de la Unión Europea para Latino-América, beca nº E06D103353BR.

#### REFERENCES

- [1] IEEE Std 802.11-1997 Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks – specific Requirements – part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," in IEEE Std 802.11-1997, 1997, pp. i-445.
- [2] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. IEEE 802.16e-2005. [3] A. Misra, S. Das, A. McAuley, and S. K. Das. Sun. Autoconfiguration, Registration and Mobility Management for Pervasive Computing. IEEE Personal Communications, vol. 08, Issue 04, Aug. 2001.
- [3] 3rd Generation Partnership Project, "Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network Architecture", 3GPP, March 2006.
- [4] IEEE 802.21, "Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services", (Draft 10.0), February 2008.
- [5] Dirk Kutscher and Jorg Ott, "Service Maps for Heterogeneous Networks", Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Mobile Data Management, IEEE MDM 2006.
- [6] Gabor Bajko and Subir Das, "Dynamic Host Configuration Protocol (DHCPv4 and DHCPv6) Options for Mobility Server (MoS) discovery", draft-bajko-mos-dhcp-options-02, IETF, February 2008.
- [7] Sreemanthula et al, "Requirements for a Handover Information Service", draft-faccin-mih-infoserv-02.txt, March 2006.

# Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization

Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Daniel Corujo, João Soares, Susana Sargento, and Rui L. Aguiar

**Abstract**—In the future mobile Internet, one of the most challenging aspects is to discover the available neighbor access networks and its characteristics as the user moves. Using the IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) standard, this letter proposes a new neighbor network discovery mechanism, considering a hierarchical view of the network information. Through a NS-2 based simulation, it is shown that the proposed model can significantly improve the mobility user experience.

**Index Terms**—Heterogeneous networks, IEEE 802.21, media independent handover, mobility.

## I. INTRODUCTION

THE integration of different wireless technologies (UMTS, IEEE 802.11 Wi-Fi and IEEE 802.16 Wi-Max) allows mobile users to choose an optimum network interface in accordance with the desired requirements in terms of quality of service (QoS), price, transmission rate, security and other characteristics. The IEEE 802.21 standard [1] aims to facilitate handover procedures in heterogeneous access networks by providing information, events and commands to the entities that assist in the handover decision. In this heterogeneity of technologies, discovering the available access networks is one of the main challenges.

The standard [1] specifies a Media Independent Information Service (MIIS) server supporting various information elements that provide network information within a geographical area. Based on information from several access networks and operators, a Mobile Node (MN) can take an optimized handover decision. The information available via the MIIS can be categorized as:

General Information and Access Network Specific Information: presents a general overview about the networks covering a specific area such as network type, operator identifier, QoS, security, cost and roaming partners.

Link connection point information: provides information about Points of Attachment (PoA) for each available

access network and categorizes aspects such as geographical location, data rate, channel configuration, and so on.

There have been proposals [2]–[5] taking into consideration the IEEE 802.21 MIIS service for network discovery. Current literature considers the existence of only one MIIS server in the network which responds with neighborhood information. However, the number of network entities and supported communication technologies directly impact the amount of MIIS information sent from the network to the MN, causing handover performance delay.

There are many shortcomings related to the specification of a single MIIS server: 1) too much information to store when hundreds of access networks and dozens of operators exist; 2) can represent a single point of failure and 3) high discovery delay if the MIIS server is located many hops away from the MN. It's clear that the usage of a single MIIS server for a large city or a whole country with several operators is not desirable. Moreover, this centralized architecture is not scalable when information queries from the MN are highly frequent. Finally, inaccurate or unrelated network information results in sub-optimal handovers. Therefore, in this letter, we propose a hierarchical neighbor discovery scheme which enhances the performance of the MN in terms of experienced throughput and discovery response time.

## II. HIERARCHICAL NEIGHBOR DISCOVERY SCHEME

This section describes our proposed scheme and how it supports an optimized MN mobility performance. We argue that a solution considering multiple networks and operators has to contemplate a hierarchical splitting of the existing information. This is due to the fact that the amount and detail of information pertaining to specific PoAs of a single access network, and the combination of all these details for a number of access networks and different operators, may be very large.

The IEEE 802.21 allows the MN to restrict the response message size by optionally setting the `MaxResponseSize` parameter in the query message. When the response message exceeds the maximum size, some information must be removed from the MIIS response. Clearly, this is not suitable for the user. Removing important information may cause a sub-optimal handover decision. Considering this, and in order to improve the MIIS response in quality, we propose a hierarchical neighbor discovery scheme in which the network coverage area is divided into mobility zones, managed by different MIIS servers as illustrated in Fig. 1.

From bottom to up, the first level of the hierarchy is composed by mobility zones defined by the amount of existing networks, users, while even considering areas where networks are overlapped. In the second level, there are Zone MIIS servers (ZMIIS) which are in charge of supplying

Manuscript received April 29, 2010. The associate editor coordinating the review of this letter and approving it for publication was M. Ma.

F. Buiati (corresponding author) and L. J. García Villalba are with the Group of Analysis, Security and Systems (GASS), <http://gass.ucm.es/en>, Department of Software Engineering and Artificial Intelligence, School of Computer Science, Office 431, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Calle Profesor José García Santesmases s/n, 28040 Madrid, Spain (e-mail: fabio, javiergv @fdi.ucm.es).

D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, and R. L. Aguiar are with the Institute of Telecommunications, University of Aveiro, Portugal (e-mail: dcorujo, joaosouares, susana, ruilaa @ua.pt).

This work was supported by the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, Spain) through projects TEC2010-18894 and TEC2007-67129 and the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through projects TSI-020100-2008-365 and TSI-020100-2009-374. The corresponding author thanks the support of the European Unions Programme of High Level Scholarships for Latin America, scholarship no. E06D103353BR.

Digital Object Identifier 10.1109/LCOMM.2010.092310.100711



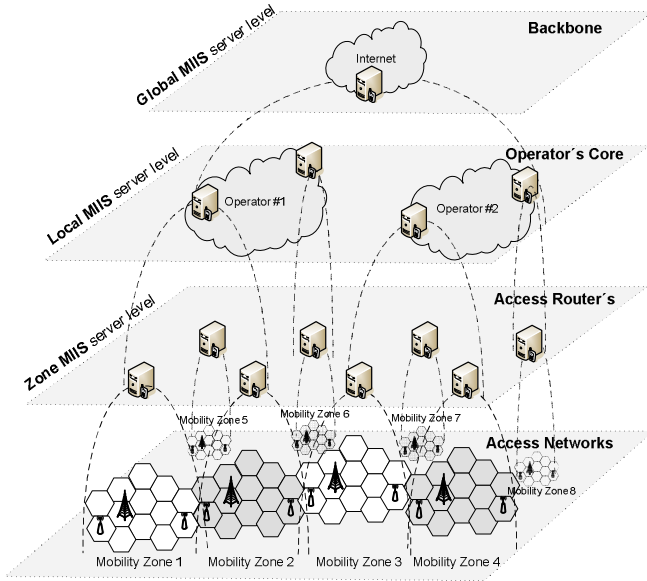


Fig. 1. Hierarchical neighbor information scheme.

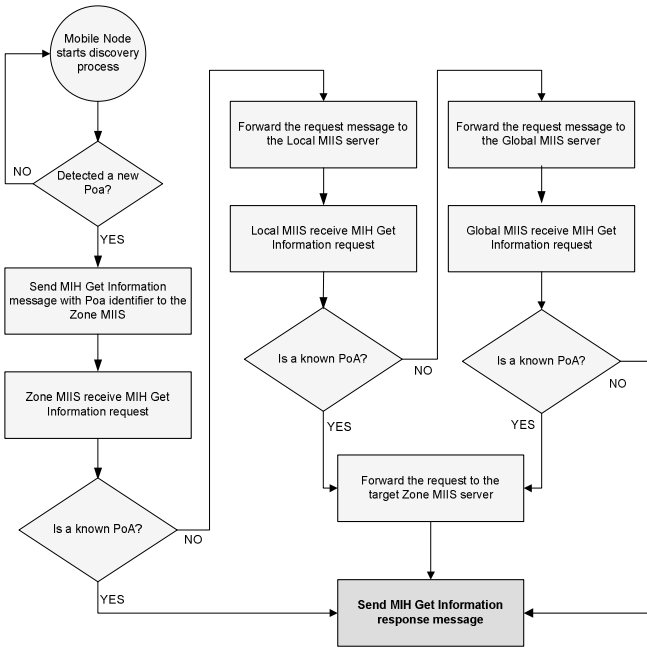


Fig. 2. Hierarchical neighbor discovery algorithm.

highly detailed information about specific PoAs in a particular mobility region. The third level refers to the Local MIIS servers (LMIIS) managing information of different mobility zones, which belong to the same operator. Finally, a Global MIIS server (GMIIS) is specified to be used in multi-operator environments. Fig. 2 shows how the hierarchical neighbor discovery scheme operates.

Whenever a MN wishes to obtain information regarding the surrounding networks, it sends a MIH Get Information request message to its ZMIIS server. The MN is able to send this message when it detects a new network or when the signal level has crossed pre-defined thresholds. In this work we have opted for the first method of triggering the MIIS query message. The MN sends a request message to the ZMIIS

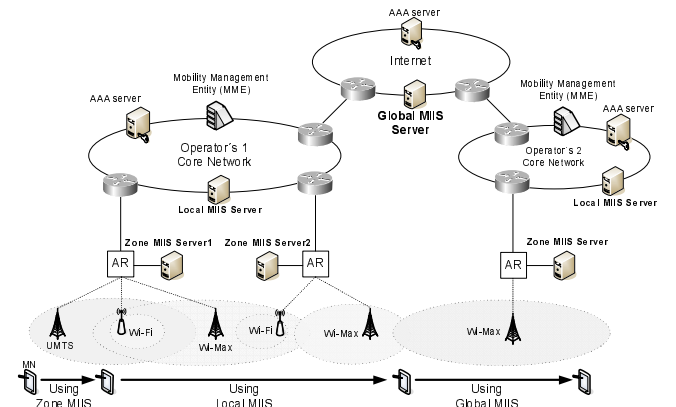


Fig. 3. Simulated heterogeneous scenario.

server through the current PoA link. If the query is related to an entity outside that zone, it is forwarded to the LMIIS server which is able to contact the target zone's ZMIIS and obtain the required information. In the case that the request zone belongs to another operator, the LMIIS server forwards the message to the GMIIS server, acting as an interface pointer between relevant mobility regions of different operators. In this way, it knows which ZMIIS server holds the desired information, to which it replies using the MIH Get Information response message. In case none of the MIIS servers store information about the detected PoA, the GMIIS server replies with a null MIH Get Information response message.

Accessing critical information from other operators through non-secure links and 3rd party servers raises important security issues. Other than service agreements, the LMIIS servers must be able to access Authentication, Authorization and Accounting (AAA) frameworks where users can be authenticated prior to do the query. One solution in secure inter-domain handover is presented in [2]. The authors propose a Media Independent Pre-Authentication (MPA) framework that enhances the inter-domain and inter-technology handover. The MPA specifies that a MN can establish a security association with the candidate network before it attaches to it and, subsequently, undergo a secure communication. Using this method, two or more different MIIS can establish a secure communication and interchange information. We also consider that a node can obtain direct network information without authentication, but in that case the information the MN receives is minimal.

### III. PERFORMANCE EVALUATION

To evaluate our hierarchical MIIS system performance we have implemented the MIIS functionality by enhancing the existing MIH implementation software package NS-2 [6]. The scenario (Fig. 3) features two operators.

The first one holds one UMTS network, two Wi-Fi PoAs and two Wi-Max PoAs. The second operator consists of one Wi-Max PoA. For each single operator the ZMIIS is installed on the Access Router (AR) of an access network and the LMIIS server is installed on the core network side. The GMIIS is a server located in the Internet or some common operator's backbone. Finally, a multi-modal MIH-capable node

TABLE I  
ACCESS NETWORK CHARACTERISTICS

Access Network	Description	Data Rate (Uplink / Downlink)
UMTS	PoA without load	384 kbps
Wi-Fi	PoA with background traffic	1 Mb/s
Wi-Max	Poa without load	11 Mb/s

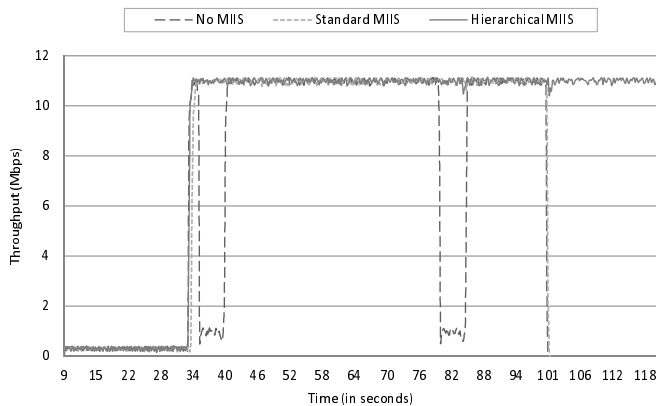


Fig. 4. Average MN throughput.

is moving through the scenario performing several handovers. The network parameters for the simulation are described in Table I.

Two performance metrics are evaluated (representing the average of fifteen independent runs): the average throughput and the neighbor discovery time.

#### A. Throughput

We first measure the average throughput experienced by the MN when moving through the scenario illustrated in Fig. 3.

Without using the MIIS functionality, the MN performs handovers to non-optimal PoAs due to the fact that it has no information about their status, as illustrated in the Fig. 4. Using the Standard MIIS, the MN performs optimized handovers, connecting to PoAs with low load values and obtaining a good throughput. However, the standard MIIS does not perform handovers between different operators, and thus does not take advantage of the Wi-Max network from Operator 2, after the 100s mark in the figure. Finally, using the hierarchical MIIS deployment, the MN has knowledge of which networks are good handover candidates. Through the GMIIS, the MN performs an inter-operator handover in the 100s mark, achieving much better throughput with the new link.

#### B. Neighbor Discovery Time

We also evaluated the neighbor discovery time, which is the total time from the instant the MN requests information up to the time when the MN receives a response from any MIIS server. The time mainly depends on two variables: the wired link delay and the hop count between the MN and the MIIS server. For this scenario, the one-way wired delay is set

TABLE II  
NEIGHBOR DISCOVERY TIME

MIIS	Hops from the MN	Discovery Time
Zone	2-3	34-45ms
Local	3-6	64-103ms
Global	4-10	108-207ms
Standard	3-8	54-104ms
No MIIS	-	80-5829ms

to 5ms and the hop count is summarized in Table II, close to the values used in [4].

Considering these times, the ZMIIS has a very fast response time, allowing the MN to make optimized handover decisions. The Standard MIIS and the LMIIS provide similar discovery times since they have the same physical location inside the network. However, the LMIIS presents two main benefits: 1) a high-level control about the information by knowing to which ZMIIS to redirect the requests; 2) a greater degree of options for MN handover is possible by filtering and pushing information between zones. The GMIIS presents a clear tradeoff between response time and handover quality, allowing inter-operator handovers. As values for comparison with other schemes: [5] presents a query delay of 2.2s for a MIIS centralized implementation and [3]-[4] show that the MN may experience discovery delays ranging from 80ms to 5.8s, depending on the technology and the scanning method.

#### IV. CONCLUSION

This letter presented a framework for storing network information in a hierarchical way while enabling multiple-operator scenarios. This information provides mobile terminals with a complete and consistent view of surrounding handover possibilities. The framework was compared with schemes featuring no MIIS server or with the standard centralized MIIS server, showing that our hierarchical solution is able to provide the terminal with optimized handover choices.

#### REFERENCES

- [1] IEEE 802.21 Standard, Local and Metropolitan Area Networks—Part 21: Media Independent Handover Services, Jan. 2009.
- [2] A. Dutta *et al.*, "Media-independent pre-authentication supporting secure interdomain handover optimization," *IEEE Wireless Commun.*, Apr. 2008.
- [3] W. S. Lim, D. W. Kim, Y. J. Suh, and J. J. Won, "Implementation and performance study of IEEE 802.21 in integrated IEEE 802.11/802.16e networks," *Computer Commun.*, Jan. 2009.
- [4] S.-J. Yoo, D. Cypher, and N. Golmie, "Timely effective handover mechanism in heterogeneous wireless networks," *Wireless Personal Commun.*, 2008.
- [5] A. Dutta, S. Madhani, and T. Zhang, "Network discovery mechanisms for fast-handoff," Broadnets, USA, 2006.
- [6] NIST Mobility Package for Network Simulator-2, May 2007.



# IEEE 802.21 Information Service: Features and Implementation Issues

Fábio Buiati<sup>1</sup>, Ismail Saadat<sup>2</sup>, Delfín Rupérez Cañas<sup>3</sup> and Luis Javier García Villalba<sup>4</sup>

*Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS)  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (DISIA)  
Facultad de Informática, Despacho 431  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
Calle Profesor José García Santesmases s/n,  
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain*

<sup>1</sup> fabio@fdi.ucm.es

<sup>2</sup> saadat@fdi.ucm.es

<sup>3</sup> delfinrc@fdi.ucm.es

<sup>4</sup> javiergv@fdi.ucm.es

**Abstract** - The next generation of wireless networks terminals is expected to support multiple wireless radio access networks as Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max and UMTS in which users can maintain the connection when they switch from one network to another, in seamlessly manner. Supporting this type of handover in heterogeneous networks requires several constraints to be considered such as radio signal strength, coverage, security, QoS, user policies, cost, etc. In order to store information from several networks and operators, the new IEEE 802.21 standard specifies a media independent information service that supports various information elements providing network information within a geographical area, focusing on optimization of the handover process. This article presents a general approach towards Information Service management infrastructure in a heterogeneous mobile environment addressing the main features, security and implementation issues.

**Index Terms** — Mobility, IEEE 802.21, Heterogeneous Networks, Media Independent Handover, inter-domain, service discovery, security.

## I. INTRODUCTION

With the proliferation of Wi-Fi (802.11) hotspots, the advent of Wi-Max (802.16) networks and the global reach of 3G mobile wireless services, the possibility of ubiquitous mobility for data transport is both a reality and a challenge. To make use of the available networks the mobile node (MN) will need to be equipped with several radio interfaces enabling them to associate with different networks from distinct operators in the future mobile Internet.

In this heterogeneous wireless environment, seamless handover is very important in order to minimizing aspects as data lost, low control overhead and transfer delay duration. In

the literature [1], seamless handover is a type of handover in

which service continuity and disruption time must be minimal. The handover can occur either between access points that use the same wireless technology (horizontal handover) or among two different points of attachment (PoA) belonging of different link layers technology (vertical handover). In such cases, the most important requirement is to provide the MN with sufficient information about neighbor networks to make an accurate handover decision.

In traditional (horizontal) handover, such as between cellular networks, the handover decision is based mainly on relative signal strength (RSS) information in the border region of two cells, as an indicator for service availability from a PoA. However, traditional RSS comparisons are not sufficient to make a vertical handover decision, as they do not take into account the various attachment options for the MN. This is because in heterogeneous network environments more parameters and information will be needed to make an accurate vertical handover decision. Besides RSS handover decision criteria, several other parameters such as current network utilization, expected throughput, cost per use, QoS supported, PoA geographical position and security are important.

In this way, the network information discovery phase is highly critical. To accomplish it, MN must be able to discover what types of network connectivity are accessible to them. Essentially, there are three basic alternatives to obtain network information: (1) the MN is provided with manually static information about geographical networks by means of a configuration file; (2) the MN listens to network “service advertisements” (e.g., 802.11 beacon frames and DCD 802.16 frames) to learn the accessible offered network services and (3) the mobile node can consult a network information entity, which can store information from several networks and operators. In this work, we will demonstrate the main benefit of using such

network information discovery technique.

To assist seamless handover between networks belonging to same or different technologies, a network information service (IS) may be used. The main goal of IS usage is to allow the MN to acquire a global view of all heterogeneous networks information in the area before connectivity loss is experienced, hence improving the handover decision and mobile user experience.

At the forefront of network IS specification, the IEEE 802.21 [2] standard group is currently working on the standardization of a media independent information service (MIIS) that provides capability for obtaining information about lower layers such as security, neighbor maps, QoS and cost, as well as information about available high layer services such IP configuration methods and Internet connectivity. Moreover, the MIIS offers a set of information elements (IEs) containing different groups of mobility services that could be retrieved from different link layers technologies. Usually, these IEs are intended to provide mostly static information such as channel information, geographic position and security. Dynamic information such as pricing, current available resource level and current network utilization should be obtained directly from the interaction with the access network.

The MIIS must allow the information to be accessed from any single network, related not only to the technology to which the MN is currently attached, but to the surrounding available technologies. By way of example, a MN using its Wi-Fi interface should be able to access information from all others IEEE 802 based networks as well as 3G cellular networks.

Under those circumstances, the IEs can be stored on a single centralized MIIS server [2] or distributed among several MIIS servers in a decentralized way [3]. In the interaction between an MIIS server and a MN, a series of steps are required before information is able to be delivered back to the MN. Initially, the MIIS server must be discovered by the MN, probably using layer 2 or layer 3 based mechanisms depending of its location in the network. Subsequently, a secure association may be established in order to ensure the validity of the data communication. Finally, the MN and the MIIS server can exchange information using a transport protocol which works whether MIIS server is on the same subnet or deep in the network.

The rest of this article is organized as follows. Initially, we briefly present the main network information discovery techniques by which the MN can discover a service or a network. After that, the main entities and services of the emerging IEEE 802.21 standard are showed focusing on the MIIS domain. Then we introduce a mobility information structure, including its elements and data representation

mechanism. Subsequently, we discuss the MIIS server discovery procedures as issues associated with the transport and security of IEEE 802.21 messages through an operation signaling flow example. Next, we present the main security and implementation issues. As a final point, we conclude this work with some final considerations and open topics for future works.

## II. NETWORK INFORMATION DISCOVERY

In order for a MN to obtain connection to a PoA such as Wi-Fi access point or Wi-Max and 3G base stations, it needs to first discover the services offered by the PoAs in the vicinity. Typically, the available information about candidate networks is rather minimal but sufficient for a MN to learn some parameters before choosing and joining the network. In this section, we describe the main network information discovery techniques.

### A. *Statically Preconfigured Information*

The MN is provided with manually preconfigured static information about geographical networks by means of a configuration file. One advantage of using such a technique is that no messages are exchanged, therefore no traffic is generated to the network, and hence overhead is reduced. On the other hand the method clearly presents no benefits and is not scalable. By using such approach the MN risks not to have updated network information ever.

### B. *Network Service Advertisement*

Some technologies such Wi-Fi and Wi-Max wireless networks already have an existing means of detecting a list of neighborhood networks within the vicinity. Typically, the MN turns on its wireless interface and can listen to network “service advertisements” messages (e.g., 802.11 beacon frames, IEEE 802.16 DCD) and attempt to connect to PoA. Usually, a service advertisement message contains just enough information which is necessary for a client station to learn about the parameters of the PoA before joining to the network.

The benefit of using this network discovery technique is that the network information comes within the periodic broadcast message saving the MN the task of consulting any entity of the network. Conversely, scanning multiple channels on different technologies is very expensive or consuming both in terms of time and battery-level. In addition, the MN must be a network in range to receive the advertisements messages and the operator must be willing to distribute network information.

### C. *Accessing a MIIS Server*

In the last network information discovery technique, the mobile node can consult a MIIS server, which stores information from several access networks and operators. To

access this information, the MN must perform some steps before obtaining the desired information. It may require link-layer supports, transport protocol capability and security considerations. The main advantage of using such a technique is that the MN may have a complete and consistent view of the whole network. In addition, this approach allows MN mobility over several networks and operators. In this work, we will use this approach to demonstrate the benefits of use MIIS server technique in a heterogeneous mobile network environment.

### III. IEEE 802.21 OVERVIEW

The present section shows the general architecture of the new IEEE 802.21 standard [2]. The standard specifies a Media Independent Handover (MIH) framework that facilitates handover in heterogeneous access networks (which may be wireless or wired) by exchanging information and defining commands and event triggers to assist in the handover decision making process.

The 802.21 standard supports cooperative use of information available at the MN and within the network infrastructure. Both the MN and the network may make decisions about connectivity in that the MN is well-placed to detect available networks and the network is suitable to store overall network information, such as neighborhood cell lists, location of MNs and higher layers of service availability.

To allow those functionalities, both the MN and the network PoA such as base stations and access points may be multi-modal (i.e., capable of supporting multiple radio standards and simultaneously allow connections on more than one radio interface). Specifically the standard consists of the following elements:

- A framework that enables service continuity while a MN transitions between heterogeneous link-layer technologies.
- A set of handover-enabling functions within the protocol stacks of the network elements that provide the upper layers (e.g., mobility management protocols such as Mobile IP, Mobile IPv6, Fast Mobile IP and SIP) with the required functionality to perform enhanced handovers. Usually, the upper layers protocols are referred as MIH users.
- A new logical entity created therein called the media independent handover function (MIHF). It is located in both local MN and the remote network node.
- A media independent handover service access point (named MIH\_SAP) and associated primitives are defined to provide MIH users with access to the MIHF services.
- The definition of new link layer service access point and associated primitives for each link-layer technology. Moreover, IEEE 802.21 standard compatible equipment should be able to co-exist with legacy equipment.

The MIHF is the central entity of the emerging IEEE 802.21 standard (Fig.1). Its primary roles are to facilitate handovers and provide intelligence to the network selector entity. The MIHF also provides three primary services: event services, command services and information services. These services help the MIH users maintaining service continuity, quality of service monitoring, battery life conservation, network discovery and link selection. In the IEEE 802.21 terminology, these three services are generally referred to as mobility services (MoS). A detailed explanation of each mobility service follows.

#### A. Media Independent Event Service

The media independent event service (MIES) is responsible for detecting events at lower layers and reporting them from both local and remote interfaces to the upper layers (the MIH users). A transport protocol is needed for supporting remote events. These events may indicate changes in state and transmission behavior of the physical, data link and logical link layers, or predict state changes of these layers.

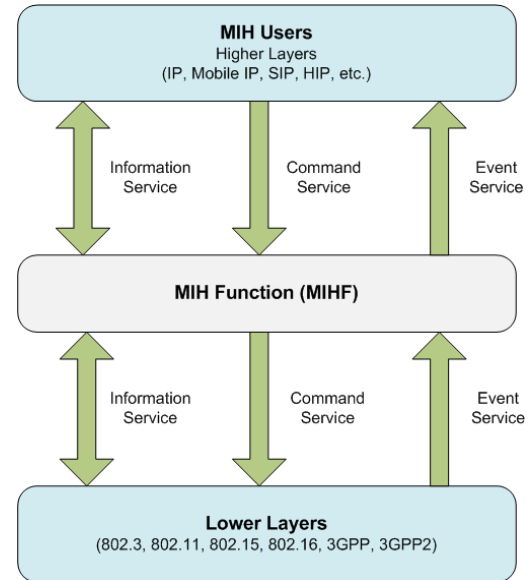


Fig 1. IEEE 802.21 Architecture

#### B. Media Independent Command Service

The media independent command service (MICS) refers to the commands sent from MIH users to the lower (physical, data link, and logical link) layers in order to control it. The commands generally carry the upper layer decisions to the lower layers on the local device entity or at the remote entity. These commands are mandatory in nature and the recipient of a command is always expected to execute it.

MIH users may utilize command services to determine the

status of links and/or control the multi-mode device for optimal performance. The MICS provides dynamic information such as signal strength and link speed, varying with time and MN mobility. The standard defines a number of commands to allow the MIH users to configure, control and retrieve information from the lower layers including MAC, radio resource management and physical layer.

### C. Media Independent Information Service

The media independent information Service (MIIS) provides a framework and corresponding mechanisms by means of which a MIHF entity may discover and obtain network information existing within a geographical area to facilitate the handovers. MIIS includes support for various information elements which provide information that is essential for a network selector to make intelligent handover decisions. The information may be present in some MIIS server where the MIHF in the MN may access it.

Moreover, the MIIS provides capability for obtaining information about lower layers such as neighbor maps and other link layer parameters, as well as information about available higher layer services such as internet connectivity. For instance knowledge of whether security, supported channels, cost per use, networks categories (such as public, enterprise, home) and QoS supported may influence the decision to select such an access network during handover process. The MIIS also allows this collective information to be accessed from any single network. Information about a nearby Wi-Fi hotspot could be obtained using a Wi-Max interface or any cellular network, whether by means of request/response signaling without the need to power up the Wi-Fi interface. This capability allows the MN to use its currently active access network and inquire about other available access networks in a geographical region.

## IV. MOBILITY INFORMATION STRUCTURE

The following section aims at describing the mobility information structure that can be used in heterogeneous wireless networks environment. At first, the IEEE 802.21 information elements and its categories are presented. Finally, we furnish a representative mobility information structure example describing its common data representation.

### A. Information Elements (IEs)

As already mentioned, the MIIS provides a set of IEs (Fig.2) which offer link layer information parameters assisting the network selection algorithm to make intelligent handover decisions. Typically, the information supplied by these elements is intended to be static such as channel information, geographic position and security, although dynamic information must also be accounted for [4].

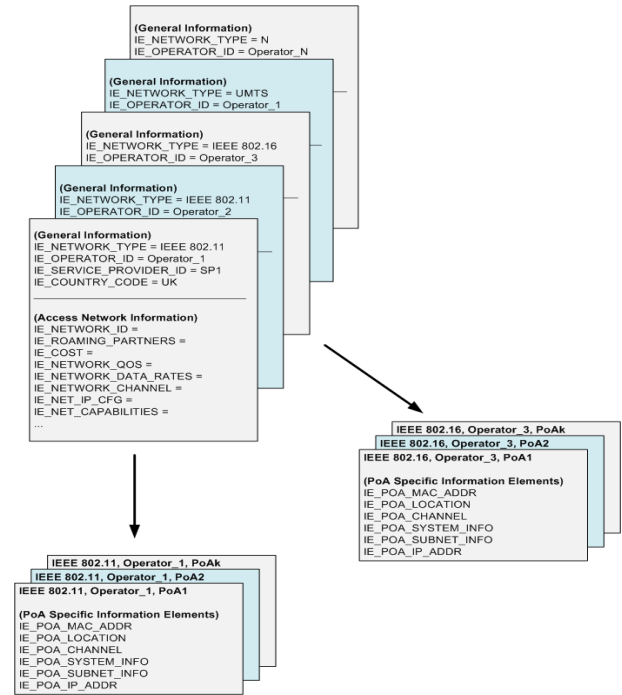


Fig 2. Mobility Information Structure

According with the IEEE 802.21 MIIS specification, the IEs can be divided in the following groups:

- General and access network information: give a general overview of the different available networks. These IEs are related to network type, operator, roaming agreements, cost per use or per traffic, security characteristics, QoS, data rate and type of mobility management protocol supported.
- Point of attachment (PoA) specific information: provides information about different PoAs for each available technology and operator. It covers information as MAC address of the PoA, IP configuration methods, channel range and geographical location.
- Vendor/network information: the standard can support other information such as access network specific, vendor/network proprietary services, etc.

The specification of IEs may involve both business and technical considerations. With regards to the business considerations, the main focus is on the Service Level Agreements (SLA) and possible charging rates that can or will be used in addition to the determination of specifically what IEs will be available. As an example, we may introduce the following use case: a MN detects two available wireless networks belonging to different operators. An operator may not want to disclose competitor's information because this may lead MN moving out to the competition. In the case where one

operator only reveals its own network information, a big problem arises as this could cause MN to not receive complete network's information which could lead into a wrong handover decision. Referring to the technical issues, the IEs specification involves design, provisioning, discovery mechanisms, content delivery, transport-layer issues and security aspects.

Fig. 2 shows a mobility information structure as specified in the IEEE 802.21 standard. It shows the IEs layout of different networks in a geographical area stored on a MIIS server. All the network information may be either centrally stored on a MIIS server or distributed in each of the individual access networks. A detailed explanation of MIIS server location as well as technical discussion can be found later.

In this example, the mobility information structure is composed by one MIIS server that stores information from three different operators named Operator\_1, Operator\_2 and Operator\_3. According to the IEEE 802.21 MIIS specification, each information element is of IE\_XXX form, where IE denotes information element and XXX denotes its description (i.e. IE\_COST indicates the cost for service or network usage, IE\_QOS indicates the QoS characteristics of the link layer, IE\_POA\_LOCATION indicates the geographical location of PoA and so on). The IEs are defined in a tree hierarchy representation in according with the three groups specified above.

As it can be seen in Fig.2, an operator can provide support for multiple access networks technologies. The first set of IEs is well-known as "General information" which gives a general overview of the different available networks. In this example, the Operator\_1 supports both Wi-Fi and UMTS wireless networks. In addition, the Operator\_2 holds up Wi-Fi and Wi-Max access networks. Finally, in the Operator\_3 we can find out information from Wi-Max and UMTS networks. Under those circumstances, multiple operators can provide support for a particular network and a single network may support various access networks.

Likewise, for each network supported by an operator there is a set of IEs identified as "Access network information". In this group of IEs, we can distinguish information such as cost per use, type of mobility management protocol supported, QoS characteristics, roaming partners, supported data rates, IP configuration methods among others.

Following the MIIS structure illustrated in Fig.2, the last set of IEs is defined as "PoA information" wherein each access network supply a list of supported PoAs. Thereby, the access network UMTS belonging to Operator\_1 supports several PoAs and the Wi-Max network from Operator\_2 provides access to several PoAs as well. Here, we highlight important information such as the geographical location of PoA, its link layer and IP

address, channel parameters and subnets supported. In summary, the MIIS structure offers mobility information that helps the MN to make an accurate handover decision across heterogeneous networks.

## V. MIIS SIGNALING FLOW

In a heterogeneous wireless environment composed of several access networks, operators and MIIS servers, a series of steps are required before information is ready to be delivered back to MN when it is communicating with an MIIS server. In order to allow a MN to obtain network information, the deployment of an MIIS infrastructure would need to provide MIIS server discovery, integration of 802.21 networks with the IP transport layer and security association service in a variety of scenarios. The IETF MIPSHOP WG specified a general mobility framework design [5] for the IEEE 802.21 MIH protocol that addresses issues associated with the transport of MIH messages, services discovery mechanisms and security issues.

Fig.3 illustrates how a MN can obtain information from a MIIS server. The operation signaling flow between a MN and an MIIS server could be divided into the three following phases: discovery, security and transport.

The initial requirement is to provide the MN with a service discovery mechanism. In this way, the MN may use DHCP and DNS protocols for peer discovery which can operate over more than one network-layer hop. On the subject of the second requirement, a common security association method should be implemented between MN and MIIS server. Speaking about transport issues, the MN may use services provided by TCP and UDP for transporting 802.21 MIH messages which is not bound by any specific link layer technology. In this way, Fig.3 shows a MN requesting network information from a MIIS server. In this example, we use DHCP for MIIS server discovery and TCP for transport of MIH information. Following a detailed explanation of these three phases and interchanged messages is presented.



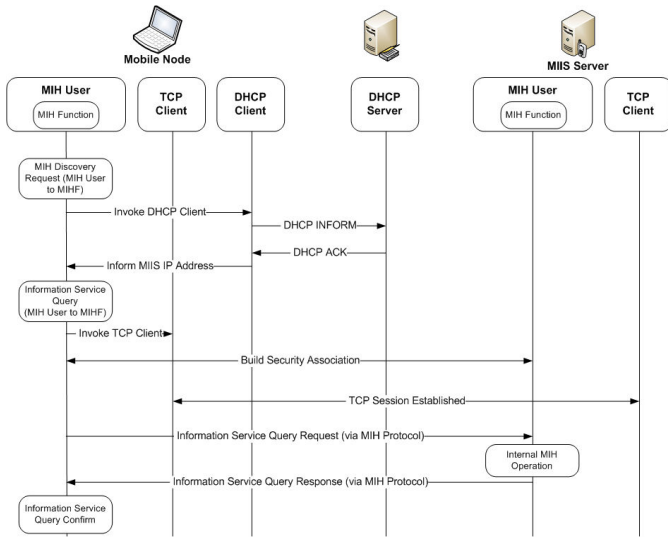


Fig 3. MN – MIIS Server Signaling Flow

### A. MIIS Server Discovery

The MIIS server discovery mainly depends on the MIIS server position in the network which may be one of the three scenarios described in [3]. The main objective of this first phase is to provide the MN with the IP address of the MIIS server. Efforts are currently underway to specify two discovery techniques: DNS and DHCP mechanisms. For a detailed operation of these service discovery mechanisms, see [6] and [7] respectively.

In the considered flow in Fig.3, we are using DHCP for MIIS server discovery. In order to obtain an IP address from the MIIS server, the MN's DHCP client sends a DHCP Inform message according to standard DHCP but with a new DHCPv4 option called MoS options which allows the MN to locate a MIIS server which hosts the mobility services (MIES, MICS and MIIS). The document [7] also defines DHCPv6 options for mobility services discovery. Following the signaling flow, the DHCP server of MN's network sends to the MN a DHCP Ack message containing the IP address of the MIIS server.

### B. Security Aspects

The main objective of the MN using the MIIS information is to make an accurate handover decision. Thus, it is essential that the information comes from a reliable source. This requirement is even more imperative when handovers are done across IP subnets or administrative domains. In this sense, before exchanging information with a MIIS server, it may require a security association of the MN to provide access to certain information.

To ensure the validity of data communication between a MN and MIIS server, the IETF MOBOPTS WG is specifying a new

secure handover optimization mechanism named media-independent pre-authentication (MPA) framework [11] that works over any link-layer and with any mobility management protocol including Mobile IPv4, Mobile IPv6, MOBIKE, HIP and SIP mobility. In summary, MPA works assuming a MN which has connectivity to the current network but is not yet attached to any candidate network (CN). It's functionality can be divided in four phases: (1) MN establishes a security association with the CN; (2) MN executes a configuration protocol to obtain an IP address as well as tunnel management protocol to establish a secure handover tunnel with the corresponding CN; (3) MN must send and receive packets over this secure handover tunnel; (4) the handover tunnel must be disabled immediately after the MN has attached to the CN.

### C. Transport Considerations

Once the IP address of the desired MIIS server has been discovered and a security association and connection is established, the MN and the IS server may exchange information over any supported transport protocol. The reference [9] is the main contribution to transport 802.21 MIH messages. It provides a container capability to mobility support services, as well as any required transport operation required to provide communication. Also, it discusses some particular mobility services characteristics as network loss, congestion conditions, message rate and retransmission parameters. As was previously stated, the MIIS framework provides the ability to access information about all networks in a geographical area from any single L2 or L3 networks depending on how the IS server is implemented.

Following the signaling flow in Fig.3, MN uses TCP protocol to establish a transport connection with the corresponding MIIS server. After established such connection, the MN may obtain network information sending a MIH\_Get\_Information message to the MIIS server. Once the MIIS server receives the MN's query, it generates an appropriate response frame containing the necessary information to the MN.

After making the discovery procedure, a security association and the connection establishment, the MN has/receives all neighbor networks information and now it can take the handover decision. Detailed signaling flow inter-domain handover examples could be founded in [10] and [11].

## VI. IMPLEMENTATION ISSUES

Several IEEE 802.21 simulations and implementations models were appeared in the last years, but it will consider the most important here. The first "implementation" was provided by NIST [12]. They developed NS-2 models of IEEE 802.21 MIH architecture components such as the Event, Command, and

Information Services, and transport of Layer 2 trigger information to higher layers. They also produced a set of NS-2 models of MAC-layers such as IEEE 802.16 and IEEE 802.11 that are used with the MIH functions to model vertical, i.e. heterogeneous, handovers that are assisted by cross-layer information passage.

ODTONE [13] stands for Open Dot Twenty ONE and is an Open Source implementation of the Media Independent Handover standard using C++ APIs. ODTONE supplies the implementation of a MIHF, supporting its inherent MIES, MICS and MIIS, as well as supporting mechanisms (Capability Discovery, MIHF Registration, Event Registration, etc.). ODTONE aims to implement a MIHF that is capable of being deployed in multiple operating systems. It supports GNU/Linux and Microsoft NT-based operating systems and others. This means this implementation will be decoupled of highly dependent operating system mechanisms.

## VII. CONCLUSION

In this article we have discussed the main characteristics and features for the design of an information server infrastructure in heterogeneous wireless networks. The main benefit of using a MIIS framework is to enable the MN to gain an overview of their environment enabling it to make an accurate handover decision. However, there are still some open issues that should be studied in future researches. Open investigation topics include new security mechanisms as new deployment real implementations modules.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through the Project Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2010-482 and the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, Spain) through the Project TEC2010-18894/TCM.

## REFERENCES

- [1] J. Manner and M. Kojo, "Mobility Related Terminology", RFC 3753, June 2004.
- [2] IEEE 802.21 Standard, "Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services", January 2009.
- [3] Fábio Buiati, Luis Javier García Villalba, Daniel Corujo, João Soares, Susana Sargento, Rui L. Aguiar, "Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization" IEEE Communication Letters, Vol.14, No.11, pp.1020-1022, November 2010.
- [4] Y. Kim, S. Pack, C.G. Kang and S. Park, "An Enhanced Information Server for Seamless Vertical Handover in IEEE 802.21 MIH Networks", Computer Networks, Vol. 55 (1), pp. 147-158, 2011.
- [5] T. Melia et al, "IEEE 802.21 Mobility Services Framework Design (MSFD)", RFC 5677, December 2009.
- [6] G. Bajko, "Locating IEEE 802.21 Mobility Services Using DNS", RFC 5679, December 2009.
- [7] G. Bajko and S. Das, "Dynamic Host Configuration Protocol (DHCPv4 and DHCPv6) Options for IEEE 802.21 Mobility Services (MoS) Discovery", RFC 5678, December 2009.
- [8] A. Dutta, (Ed.), Y. Yohba, V. Fajardo, K. Taniuchi & H. Schulzrinne, "A Framework of Media Independent Pre-Authentication (MPA) for Inter-Domain Handover Optimization", draft-irtf-mobopts-mpa-framework-08.txt, September 2010, (work in progress).
- [9] T. Melia, (Ed.), "RFC 5164 - Mobility Services Transport: Problem Statement", March 2008.
- [10] G. Lampropoulos, A. Salkintzis and N. Passas, "Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 46 (1), pp. 64-71, January 2008.
- [11] A. Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia and A. Vidal, "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services", IEEE Wireless Communications, Vol. 15 (4), pp. 96-103, August 2008.
- [12] NIST Mobility Package for Network Simulator-2, May 2007.
- [13] Odtone Open Dot Twenty ONE, <http://hng.av.it.pt/projects/odtone>.



# Overview of IEEE 802.21 Security Issues for MIH Networks

Ismail Saadat<sup>1</sup>, Fábio Buiati<sup>2</sup>, Delfin Rupérez Cañas<sup>3</sup> and Luis Javier García Villalba<sup>4</sup>

*Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS)  
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (DISIA)  
Facultad de Informática, Despacho 431  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
Calle Profesor José García Santesmases s/n,  
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain*

<sup>1</sup> saadat@fdi.ucm.es

<sup>2</sup> fabio@fdi.ucm.es

<sup>3</sup> delfinrc@fdi.ucm.es

<sup>4</sup> javiergv@fdi.ucm.es

**Abstract** - The convergence of different but complementary wireless networks brings the mobile user the opportunity to choose the network under an Always Best Connected scheme. In this heterogeneous environment the user can move between different administrative domains, aiming to make an inter-domain handover in a seamless manner. The IEEE 802.21 standard specifies a network information server entity providing network information within a geographical area by which the user can discover a service or a network. It is essential that the information comes from a reliable source. In this article, we describe the main technical requirements in order to establish a secure channel between the user and the information server. We also specify a scenario in which a proactive authentication mechanism is performed through an authentication server, focusing on optimization of the handover process.

**Index Terms** — Mobility, MPA, IEEE 802.21, Heterogeneous Networks, Inter-Domain, Security.

## I. INTRODUCTION

The significant increase of usage wireless networks such as Wi-Fi, Wi-Max and 3G, brings the mobile user the ability to make handovers under an Always Best Connected [1] scheme. In general, the handover process is divided into three main phases [2]: system discovery, handover decision and handover execution.

In the system discovery phase, the most important requirement is to provide the Mobile Node (MN) with sufficient information about neighbor networks to make an accurate handover decision. In the second phase, the user should choose a network based on several parameters such as quality of service (QoS), receive signal strength, access point geographical location, security mechanisms and so on. Finally, in the handover execution phase the connection is routed to the new

access point in a seamless way.

In the literature [3] [4], the neighbor information discovery is the most time-consuming phase in the handover process. In this way, the network information discovery phase is highly critical. To accomplish it, the MN can consult a network information server, which can store information from several networks and operators. The IEEE 802.21 standard [5] specifies a media independent information service (MIIS) providing network information within a geographical area by which the user can discover a service or a network. However, it is essential that the information comes from a reliable source. This requirement is even more imperative when handovers are done across different administrative domains. Accessing critical information from other operator through non-secure links, and 3<sup>rd</sup> party servers, raises important security risk as well.

The MIIS needs both to protect itself from attack and provide MN provable trust, in order that they can exchange the information securely and make their handovers decisions without fear of malicious inaccuracies or mischief.

One solution in secure inter-domain handover is presented in [6]. The authors propose a Media-Independent Pre-Authentication (MPA) which is a mobile-assisted higher-layer authentication, authorization and handover scheme that is performed prior to establishing L2 connectivity to a network where mobile may move in near future. Using such a technique, the MN can establish a secure channel with the information server, performing a security communication.

The rest of this article is organized as follows. Initially, we briefly present the main entities and services of the emerging IEEE 802.21 standard are showed focusing on the information server domain as well as the related work on the security subject. Then we introduce the MPA protocol structure, including its elements and the communication process.

Subsequently, we present a realistic scenario in which the MN performs an inter-domain handover obtaining the network information from a secure information server using the MPA protocol. As a final point, we conclude this work with some final considerations and open topics for future works.

## II. IEEE 802.21 BACKGROUND AND RELATED WORK

### A. IEEE 802.21 Background

The IEEE 802.21 standard [5] specifies a Media Independent Handover (MIH) framework that facilitates handover in heterogeneous access networks by exchanging information and defining commands and event triggers to assist in the handover decision making process. Specifically the standard consists of a framework that enables service continuity while a MN transitions between heterogeneous link-layer technologies. Also, it defines a new logical entity created therein called the media independent handover function (MIHF).

The MIHF is the central entity of the emerging IEEE 802.21 standard, as illustrated in Fig.1. Its primary roles are to facilitate handovers and provide intelligence to the network selector entity.

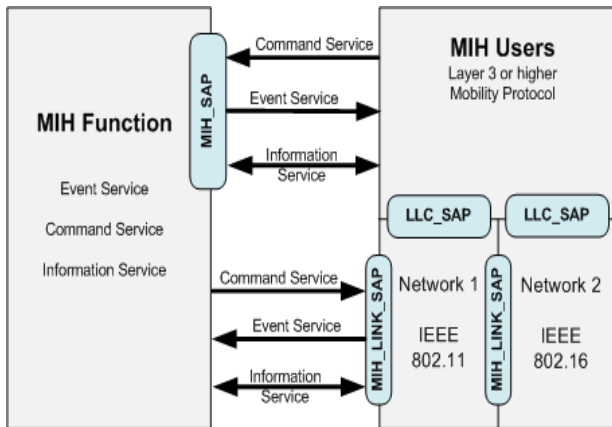


Fig. 1 MIH Architecture Overview

The MIHF also provides three primary services: event services, command services and information services. These services help the MIH users maintaining service continuity, quality of service monitoring, battery life conservation, and network discovery and link selection. A detailed explanation of each mobility service follows.

The *media independent event service (MIES)* is responsible for detecting events at lower layers and reporting them from both local and remote interfaces to the upper layers (the MIH users). A transport protocol is needed for supporting remote events. These events may indicate changes in state and

transmission behavior of the physical, data link and logical link layers, or predict state changes of these layers.

The *media independent command service (MICS)* refers to the commands sent from MIH users to the lower (physical, data link, and logical link) layers in order to control it. The commands generally carry the upper layer decisions to the lower layers on the local device entity or at the remote entity. MIH users may utilize command services to determine the status of links and/or control the multi-mode device for optimal performance.

The *media independent information Service (MIIS)* provides a framework and corresponding mechanisms by means of which a MIHF entity may discover and obtain network information existing within a geographical area to facilitate the handovers. MIIS includes support for various information elements which provide information that is essential for a network selector to make intelligent handover decisions. The information may be present in some MIIS server where the MIHF in the MN may access it. Moreover, the MIIS provides capability for obtaining information about lower layers such as neighbor maps and other link layer parameters, as well as information about available higher layer services such as internet connectivity. For instance knowledge of whether security, supported channels, cost per use, networks categories (such as public, enterprise, home) and QoS supported may influence the decision to select such an access network during handover process.

The information supplied by the MIIS is provided in Information Elements (IE) which can relate to higher layer services such as availability of IP mobility schemes at a certain operator, or to lower layer such as link neighbor maps and link configuration parameters (as illustrated in Fig.2). More concretely, information available via the MIIS can be categorized as:

- General and Access Network Specific Information: general overview of different networks, providing coverage within a specific area such as network type, operator and service identifier. Information including QoS, security, technology revision and cost is also available.
- Link connection point information: information about points of attachment for each access network available, comprising aspects such as MAC address of the access point, geographical location, channel configuration, and so on.
- Other information: network, service or vendor specific information.

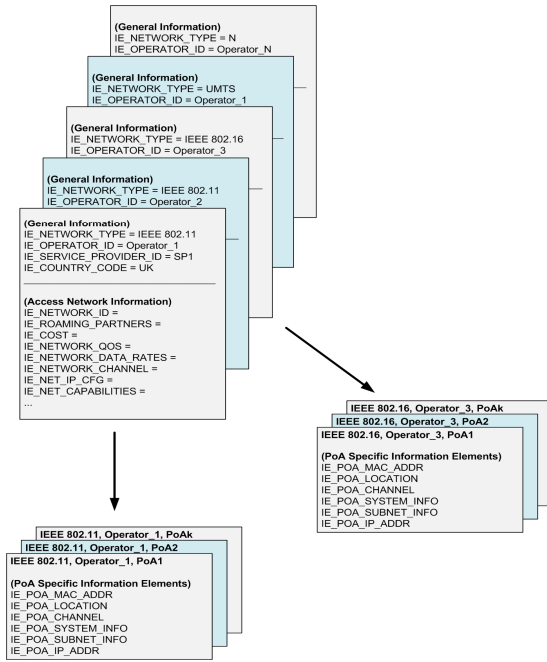


Fig. 2 MIIS Information Elements

Detailed information about the IEEE 802.21 standard, its services and characteristics can be found in [7] and [8].

### B. Related Work

The research community has been very active in recent years in reducing the disruptive effects of network handovers by proposing optimizations to existing mechanisms that add to existing mechanisms and external services and protocols that help the transition from one network to another. However, there are few security mechanisms for MIH services in the literature.

To ensure the validity of data communication between a MN and MIIS server or any MIH entity, the IETF MOBOPTS WG<sup>1</sup> is specifying a new secure handover optimization mechanism denoted media-independent pre-authentication (MPA) framework [6][7] that works over any link-layer and with any mobility management protocol including Mobile IPv4, Mobile IPv6, MOBIKE, HIP and SIP mobility. The same authors are working in the IEEE 802.21a task group, the security extension to the existing IEEE 802.21 standard.

In [10], the authors present a flexible architecture which can efficiently handle the secure and seamless mobility issue in Wi-Fi / Wi-Max integrated networks deployed for enterprise system, completing most parts of authentication and key exchange

<sup>1</sup> IP Mobility Optimizations (Mob Opts) Research Group. The research group addresses questions of an evolutionary nature, starting with the current Mobile IP architecture, including handover optimizations such as Fast Handover and Hierarchical Mobile IP.

process at the stage of initialization and handover procedure.

A new security scheme is presented by authors in [11]. They propose an efficient handover mechanism among Wi-Fi and Wi-Max networks which allows a seamless roaming process by reducing the authentication processes. This scheme also involves security mechanisms that guarantee the handover messages to be secure and maintain the authenticity. The authors still need to simulate the proposed scheme. The simulation will focus on time spent during authentication phase.

The authors in [12] propose a novel scheme to transport 802.21 messages over a secure network layer protocol denoted PLA that has built in hop-by-hop security mechanism. This scheme has the advantage that ensures very strong security of the signaling framework without much overhead. PLA-MIH reduces the latency during the MIH signaling. On the other hand, this work is only theoretical and the authors intend to do a detailed simulation scenario in future.

In [13], proactive authentication techniques and MIH protocol level security mechanisms are elaborated. Proactive authentication is a process by which an entity can perform a priori network access authentication with a media independent authenticator and key holder (MIA-KH) that is serving a candidate network. The entity performs such authentication in anticipation of handover to the neighboring networks.

In [14] the authors propose an access authentication scheme with user anonymity denoted Secure Access of MIIS (SAM). The scheme provides an anonymous access authentication of MIIS considering that the access control for information is applied through an access authentication controller. The protocol can be used to establish a secure channel between the mobile node and the information server. The solution has the advantages of lightweight computation, low communication cost, and easy implementation, but it could have the disadvantage in a MIIS hierarchical framework.

In [15], Won et al propose a secure message transport (MIHSec) using the Master Shared Key (MSK) in order to overcome the handover overhead and hence minimizes authentication time. The MIHSec operates at the application layer and utilizes Extensible Authentication Protocol (EAP) to provide security to MIH messages.

In [16] the authors use the information capabilities provided by IEEE 802.21 and propose an extension to current network selection algorithms that takes into account security parameters and policies to optimize the handover performance and reduce the negotiation delay. The authors present two modular extensions to network selection algorithms that prevent the problems resulting from incompatible security policies, and provide more accurate security signaling delay estimations, which, in turn, result in more accurate handover delay

estimations.

### III. MEDIA PRE-AUTHENTICATION PROTOCOL (MPA)

The MPA [9] is a mobile-assisted higher-layer authentication, authorization and handover scheme that is performed prior to establishing link-layer connectivity to a network in which a MN may move in near future. As mentioned before, the MPA mobility optimization works with any mobility management protocol. With MPA, a MN can set parameters for Candidate Target Network (CTN) and also able to send and receive IP packets using the IP address obtained before it actually attaches to the CTN. Fig. 3 shows the main MPA functional components.

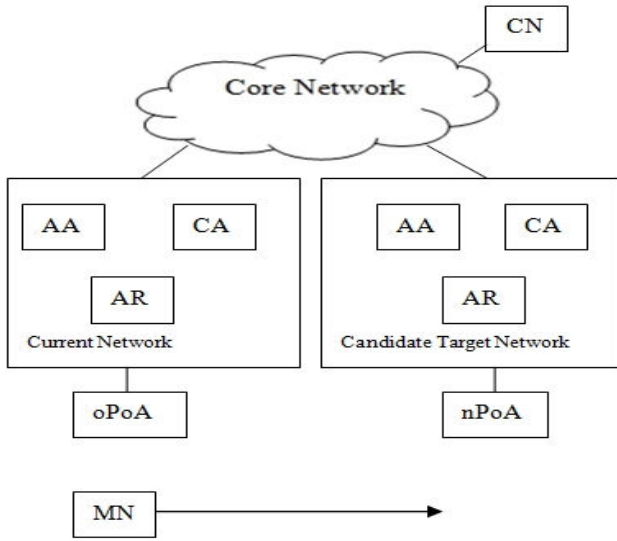


Fig. 3 MPA Functional Components

In the MPA framework, the following functional elements are expected to reside in each CTN to communicate with a MN:

**Authentication Agent (AA):** it is responsible for the pre-authentication phase. An authentication protocol is executed between the MN and the authentication agent to establish an MPA-SA (MPA Secure Association). The authentication protocol should be able to interact with an AAA entity such as Radius and Diameter to carry authentication credentials to an appropriate authentication server in the AAA infrastructure. The EAP (Extensible Authentication Protocol) [17] or ERP (EAP Reauthentication Protocol) [18] can be used as the authentication protocol for MPA.

**Configuration Agent (CA):** it is responsible for one part of the pre-configuration phase, namely securely executing a configuration protocol to deliver an IP address and other configuration parameters to the MN. DHCP is an example of a configuration protocol that can be used for the configuration

process.

**Access Router (AR):** it is a router that is responsible for the other part of pre-configuration process.

#### A. MPA Protocol Flow

In the MPA protocol flow, illustrated in Fig. 4, we assume that the MN is already connected to a point of attachment referred to as the old point of attachment (oPoA) and assigned an old CoA (oCoA). Next we explain each phase of the MPA process:

**1) Stage 1: Pre-Authentication:** The MN finds a CTN through a discovery process, and obtains the address and capabilities of the AA, CA, and AR in the CTN. The MN pre-authenticates with the authentication agent. If the pre-authentication is successful, an MPA-SA is created between the MN and the authentication agent. Two keys are derived from the MPA-SA, a MN-CA and MN-AR keys, which are used to protect subsequent signaling messages of a configuration protocol and a tunnel management protocol, respectively. The MN-CA and MN-AR keys are then securely delivered to the configuration agent and access router. Layer 2 pre-authentication is initiated at this stage.

**2) Stage 2: Pre-configuration:** The MN realizes that its point of attachment is likely to change from oPoA to a new one, denoted new point of attachment (nPoA). Then it performs pre-configuration with the configuration agent to obtain several configuration parameters and default router from the CTN. The MN then communicates with the access router using the tunnel management protocol. A configuration protocol and a tunnel management protocol may be combined in a single protocol or executed in different orders depending on the actual protocol(s) used for configuration and tunnel management.

After completion of the tunnel establishment, the MN can communicate using both old *care-of address* (oCoA) and new *care-of address* (nCoA) by the end of step 3.



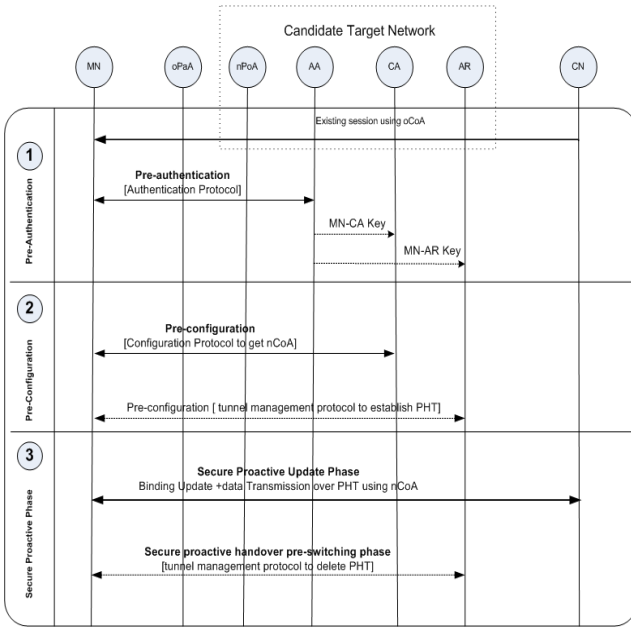


Fig 4 MPA Phases

3) *Stage 3: Secure proactive handover*: The MN decides to switch to the nPoA. Before it switches to the nPoA, it starts a secure proactive handover by executing the binding update operation using a mobility management protocol and transmitting subsequent data traffic over the tunnel. This stage is divided into two minor phases:

- *Secure proactive handover pre-switching (sub-phase)*: The MN completes the binding update and becomes ready to switch to the new point of attachment. The MN might execute the tunnel management protocol to delete or disable the proactive handover tunnel and cache nCoA after deletion or disabling of the tunnel. This transient tunnel can be deleted prior to or after the handover. In this step, link-layer handover occurs.
- *Secure proactive handover post-switching (sub-phase)*: The MN executes the switching procedure. Upon successful completion of the switching procedure, the mobile node immediately restores the cached nCoA and assigns it to the physical interface attached to nPoA. If the proactive handover tunnel was not deleted or disabled, the tunnel is deleted or disabled as well. After this, direct transmission of data packets using nCoA is possible without using the tunnel.

### B. MPA Applicability

The MPA can be used to optimize the mobility protocols that work in the network and application layers. The authors recommend that the MPA has more accuracy when the prediction of movement can be easily done. In other words, MPA is more viable as a solution for inter-domain predictive

handover without the simultaneous use of multiple interfaces. Since MPA is not tied to a specific mobility protocol, it is also applicable to support optimization for inter-domain handover where each domain may be equipped with a different mobility protocol.

## IV. PRACTICAL HANDOVER SCENARIO

This section presents a practical handover scenario that takes advantage of Wi-Fi and Wi-Max networks in which the MN get information from a secure IEEE 802.21 MIIS, as illustrated in the Fig. 5. We consider the MN as a multimodal device (equipped with two interfaces: Wi-Fi and Wi-Max). We assume that the MN is already connected to a point of attachment as the old point of attachment (oPoA) Wi-Max BS. The MIIS server is located in anywhere in the Internet. There is an AS (Authentication Server) that provides MIH level protection independent to media and access network.

Initially, the MN resides in Network1 and moves from its domain to another domain and in the process changes its subnet. Network 2 is the (nPoA) Wi-Fi AP, Network 3 is where the CN resides, and finally, Network 4 is where the MIIS server resides. Next we explain the signaling flow and how the MN obtains information from the MIIS in a secure manner.

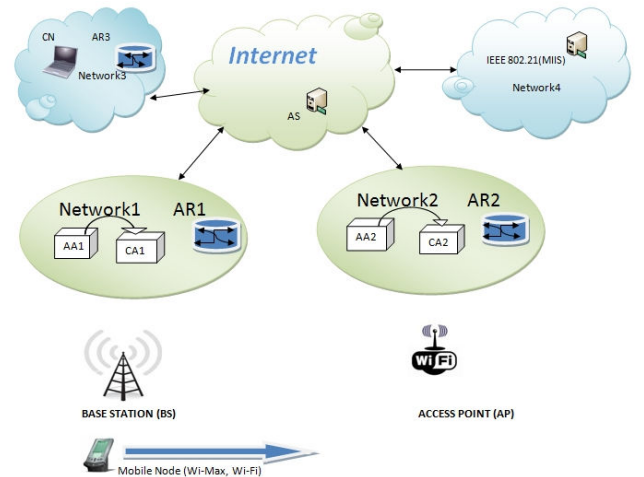


Fig. 5 Integrated Wi-Fi and Wi-Max scenario

Fig. 6 depicts the handover signaling and mechanisms in an MPA scenario in which the MN is initially connected to the Wi-Max BS belonging to the Network1. We have divided the signaling into six minor phases, as follows:

At point 1, upon receiving a beacon from the Wi-Fi AP followed by a “*MIH\_Link\_Detected*” event from MAC layer toward the MIHF, the MN becomes aware of new connectivity opportunity. Discovery of neighboring networking elements



such as access points, access routers, authentication servers helps expedite the handover process during a mobile's movement between networks.

At point 2, the MN first performs an authentication process with the AS server. Upon a successful authentication, a key is generated to the MIIS server (MN-MIIS). Then, the MN is authorized to ask the MIIS server for more information about the detected PoA. First, it sends a “*MIH\_Get\_Information request*” to the MIIS that answers with a “*MIH\_Get\_Information response*” message. In this phase, the MN also checks the resources availability at the candidate PoA (AP) and decides to make a handover. At the final, the MN obtains the IP addresses of AA2, CA2 AR2 from Network2.

At point 3, after the handover decision making, the MPA signaling starts (pre-authentication phase). The MN performs a pre-authentication with the authentication agent. If pre-authentication is successful, an MPA-SA is created between AA2 and MN. Two keys are derived from the MPA-SA, namely an MN-CA2 key and MN-AR2 key, which are used to protect subsequent signaling messages. The keys are then securely delivered to the CA2 and the AR2, respectively.

attachment is likely to change from Wi-Max (oPoA) to Wi-Fi (nPoA). It then performs a pre-configuration with CA2 using the configuration protocol to obtain several configuration parameters such as a new IP address and default router from Network2. The MN then starts a communication with the access router in Network2 using the tunnel management protocol to establish a proactive handover tunnel. The MN is able to communicate using both IP address from Network1 and IP address from Network2 by the end point 4. The signaling messages of the pre-configuration protocol are protected using the MN-CA2 key and the MN-AR2 key.

At point 5, (secure proactive handover), before the MN completes the binding update and becomes ready to switch to Wi-Fi, it starts secure proactive handover by executing the binding update operation of a mobility management protocol and transmitting data traffic over the tunnel. The MN may choose new addresses as the binding update address and send it to the CN. The MN completes the binding update and ready to switch to the Wi-Fi network. After that, the MN deletes or disables the proactive handover tunnel. The decision as to when the mobile node is ready to switch to the new point of attachment depends on the handover policy.

At Point 6, the MN finalizes the inter-domain handover by sending a “*MIH\_MN\_Handover\_complete request*” message to the new PoA which confirms with the old PoA. Upon receiving the confirmation, the new PoA sends a “*MIH\_MN\_Handover\_complete response*” message back to the MN. Finally, the MN releases the allocated Wi-Max resources and deactivates the it's corresponding interface.

## V. CONCLUSION

In this article we have discussed the main characteristics and security issues in an inter-domain handover in heterogeneous wireless networks. We first described the MPA and its functional components. Then, through a practical scenario, we show an inter-domain signaling flow in which the MN can obtain information from a MIIS server in a secure manner.

As future work, we are working in a specification of new security mechanism as well as new deployment real implementations modules.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through the Project Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2010-482 and the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, Spain) through the Project TEC2010-18894/TCM.

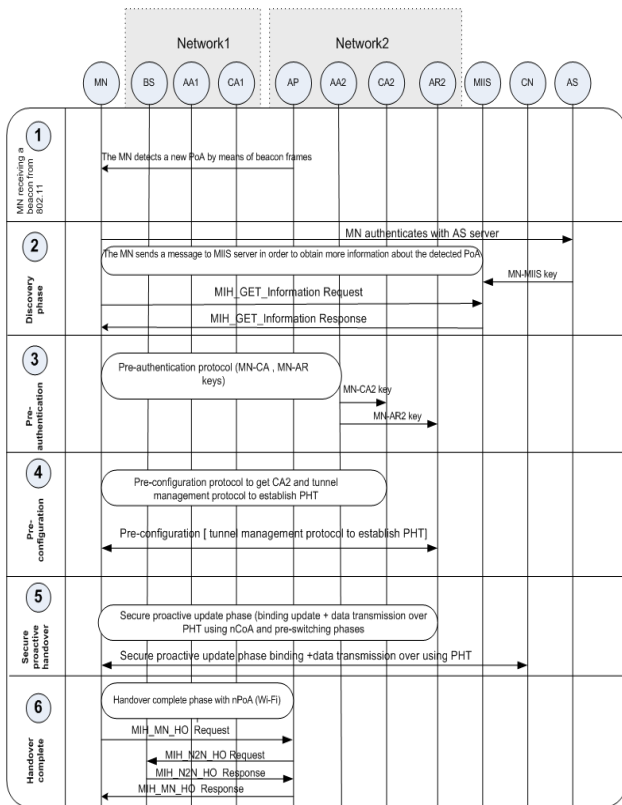


Fig. 6 Handover signaling flow with a secure MIIS server.

At point 4, (pre-configuration phase), the MN realizes that its

## REFERENCES

- [1] E. Gustafsson and A. Johnson, "Always Best Connected," IEEE Wireless Communications, Vol. 10, No. 1, pp. 49-55, 2003.
- [2] J. Manner and M. Kojo, "Mobility Related Terminology", RFC 3753, June 2004.
- [3] Sang-Jo Yoo, David Cypher and Nada Golmie, "Timely Effective Handover Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks," Proceedings of the Springer Wireless Personal Communications, 2008.
- [4] J. Floroiu, M. Corici, Byoung-Joon Lee, S. Lee, S. Arbanowski, and T. Magedanz, "A Vertical Handover Architecture for End-to-End Service Optimization," 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 2007, July 2007.
- [5] IEEE 802.21 Standard, "Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services", January 2009.
- [6] A. Dutta et al, "Media-Independent Pre-Authentication Supporting Secure Interdomain Handover Optimization", IEEE Wireless Communications, Vol. 15, No. 2, pp. 55-64, April 2008.
- [7] A. Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia and A. Vidal, "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services", IEEE Wireless Communications, Vol. 15 (4), pp. 96-103, August 2008.
- [8] G. Lampropoulos, A. Salkintzis and N. Passas, "Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 46 (1), pp. 64-71, January 2008.
- [9] A. Dutta, (Ed.), Y. Yohba, V. Fajardo, K. Taniuchi & H. Schulzrinne, "A Framework of Media Independent Pre-Authentication (MPA) for Inter-Domain Handover Optimization", draft-irtf-mobopts-mpa-framework-08.txt, September 2010, (work in progress).
- [10] J. Zhao, J. Pan and L. Hou, "Security and Seamless Mobility Based Architecture for Hybrid Network of Enterprise", 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09, pp. 1, September 2009.
- [11] H. Sun, S. Chen, Y. Chen et al, "Secure and Efficient Handover Scheme for Heterogeneous Networks", IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, 2008. APSCC '08, pp. 205, December 2008.
- [12] S. Saha and D. Lagutin, "PLA-MIH: A Secure IEEE802.21 Signaling Scheme", IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2009. WIMOB 2009, pp. 252 – 257, November 2009.
- [13] S. Das, A. Dutta, and T. Kodama, "Proactive authentication and MIH security," 2009, <https://mentor.ieee.org/802.21/documents>.
- [14] Guangsong Li, Qi Jiang, Xi Chen and Jianfeng Ma, "Secure Access Authentication for Media Independent Information Service", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2010, Article ID 249169.
- [15] J. Won, M. Vadapalli, C. Cho, and V. Leung, "Secure Media Independent Handover Message Transport in Heterogeneous Networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2009, Article ID 716480.
- [16] Antonio Izquierdo and Nada T. Golmie, "Improving Security Information Gathering with IEEE 802.21 to Optimize Handover Performance", ACM. 2009.
- [17] B. Aboba, D. Simon, and P. Eronen, "Extensible Authentication Protocol (EAP) Key Management Framework," RFC 5247, 2008.
- [18] V. Narayan and L. Dondeti, "EAP extensions for EAP re-authentication protocol (ERP)," RFC 5296, 2008.



# Improving the Wi-Fi Channel Scanning Using a Decentralized IEEE 802.21 Information Service

Fabio Buiati<sup>1</sup>, Luis Javier García Villalba<sup>1</sup>, Delfín Rupérez Cañas<sup>1</sup>,  
and Tai-hoon Kim<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Group of Analysis, Security and Systems (GASS)  
Department of Software Engineering and Artificial Intelligence  
School of Computer Science, Office 431  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
Calle Profesor José García Santesmases s/n  
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain  
{fabio,javiergv,delfinrc}@fdi.ucm.es

<sup>2</sup> Department of Multimedia Engineering  
Hannam University  
133 Ojeong-dong, Daedeok-gu  
Daejeon, Korea  
taihoonn@hannam.ac.kr

<sup>3</sup> Department of Information Technologies  
Global Vision School Australia (GVSA)  
20 Virgina Court, Sandy Bay  
Tasmania, Australia  
taihoonn@gvsa.asia

**Abstract.** Today, the possibility of ubiquitous mobility for data transport is both a reality and a challenge. The access can be made through different wireless technologies, e.g. Wi-Fi, Wi-Max and 3GPP networks. In the heterogeneous wireless environment, the network information discovery phase has a significant effect on the handover latency, especially discovering Wi-Fi networks. In this paper, we propose a new network discovery scheme using the IEEE 802.21 Media Independent Information Service (MIIS). In the proposed scheme, a Mobile Node (MN) obtains channel information from neighbor networks from a MIIS server and performs a selective scanning. Our idea introduces the notion of regional mobility areas, managed by different MIIS servers, in a decentralized way. The simulation results show that the proposed scheme enhances the MN's performance if compared with the traditional scanning schemes.

**Keywords:** Mobility, IEEE 802.21, Scanning, Heterogeneous Networks, decentralized.

## 1 Introduction

In the emerging heterogeneous wireless environments, the MN can move between networks or access points (AP) in which the network information discovery phase is

highly critical, especially in Wi-Fi networks. Usually, the MN listens to see if there is a wireless LAN within range. This process of listening is called scanning. The problem is that scanning all the channels (full scanning) is very time and battery-level consuming [1]. In a Wi-Fi network deployment, several channels are expected to be empty, to reduce the interference between adjacent APs. Skipping empty channels can reduce the Wi-Fi AP discovery delay. So, the scanning delay can be reduced by simple refining the scanning procedure to a limited set of channels, denoted selective scanning.

We propose the use of the IEEE 802.21 MIIS [2] to improve the Wi-Fi channel scanning procedure. The main goal of MIIS usage is to allow the MN to acquire a global view of all heterogeneous networks information within a geographical area.

The proposed solution considers the splitting of the network coverage in regional mobility areas, managed by different MIIS servers, in a decentralized way. Using such a technique, the MN receives detailed channel information only related to its general neighborhood, even without using any location service or Global Positioning System (GPS) equipment. Upon receiving the information from the MIIS server, the MN performs a selective scanning. The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 provides a brief description of the related work. Section 3 presents the proposed scanning scheme. Then, a performance evaluation is described in Section 4. Finally, Section 5 concludes the paper.

## 2 Related Work

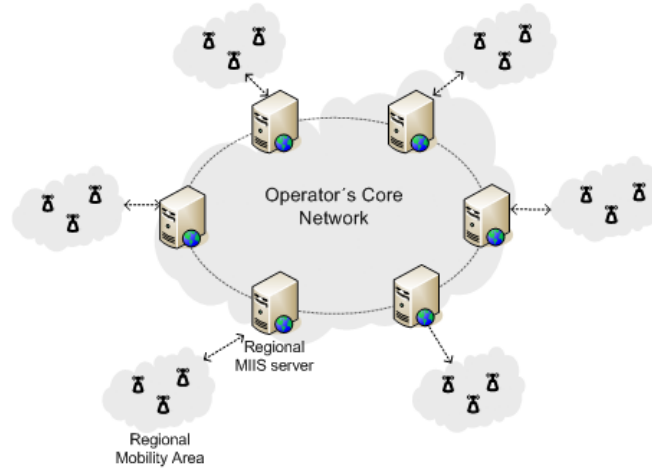
Several works have been published to reduce the scanning delays using the MIIS server [3-5]. In [3] the authors proposed a WLAN discovery scheme by exploiting channel and location information of the networks. [4] suggested an enhanced MIIS server in which channel conditions are estimated using spatial and temporal locality, with the objective of minimizing the channel scanning delays. Finally, in [5], a decision algorithm of target network and fast L2 handover scheme using the location information of MN is proposed.

However, in these previous works, one common assumption is that the MN and APs have a GPS or other location service equipment in order to communicate with the MIIS server and obtain channel-related information. Our overall idea differs from the existing works in point of that the MN without any location service equipment can obtain channel information from the MIIS server in a geographical area, taking the advantage of use of a decentralized MIIS architecture.

## 3 Proposed Wi-Fi Scanning Scheme Using a Decentralized MIIS

In order to reduce the Wi-Fi scanning delay, we specify a new selective scanning using a decentralized MIIS architecture, as illustrated in Fig.1. The architecture is composed by two important elements: regional mobility areas (RMA) consisting of several Wi-Fi APs and regional MIIS servers (RMIIS) that manage each one of the RMA. Detailed procedures are as follows.

- 1) In the bootstrapping, the MN connects to an available network and receives channel-related information about APs in the same RMA from the RMIIS.
- 2) In the movement from one network coverage to another, the MN receives a link detected trigger (since the MN monitors signal quality of associated Wi-Fi APs). Upon detecting a new AP, it looks inside the RMA information.
- 3) If the detected AP belongs to the same RMA, no additional channel information is necessary, because the MN stores enough channel information from the RMA, previously provided by the RMIIS server.
- 4) Belonging to a different RMA (MN is crossing two different RMAs), the MN sends a *MIH Get information request* message to the RMIIS server including the detected AP identifier. The RMIIS server is able to contact the target RMIIS that holds information from the detected AP. Then, it replies with *MIH Get Information response* message containing a list of channels currently used by nearby APs within the new RMA (where the MN is moving to). After receiving the response from the RMIIS server, the MN constructs a list of valid used channels.
- 5) If a handover is triggered (e.g. link going down), a selective scan in the channels provided in (1) or in (4) is performed.



**Fig. 1.** A decentralized MIIS architecture

## 4 Performance Evaluation

We have evaluated our proposal using the NS-2[6]. The scenario is composed by four RMAs, with a variable number of APS (1 to 10). The used channel numbers are 1, 6 and 11. We compare three different scanning strategies (shown in Fig. 2):

- 1) Full Passive Scanning: expressed by (number of channels x beacon interval (around 100ms)). Therefore, scanning 11 channels might take 1.1s.

- 2) Full Active Scanning: the MN broadcasts probe requests messages and waits at least a *MinChannelTime* (set as 17ms). If any response arrives, the MN waits for a *MaxChannelTime* (30ms). This is done for each Wi-Fi channel. The MN needs 330ms to perform this scanning method.
- 3) RMA Selective Scanning: the MN requests information from the RMIIS server and only scans the used channels by the neighbors APs in the RMA. We also take in account the delay to get information from the RMIIS server, approximately 24ms. The RMA scanning delay varies from 54 ms up to 114ms, for the lowest and biggest number of APs in each RMA, respectively.

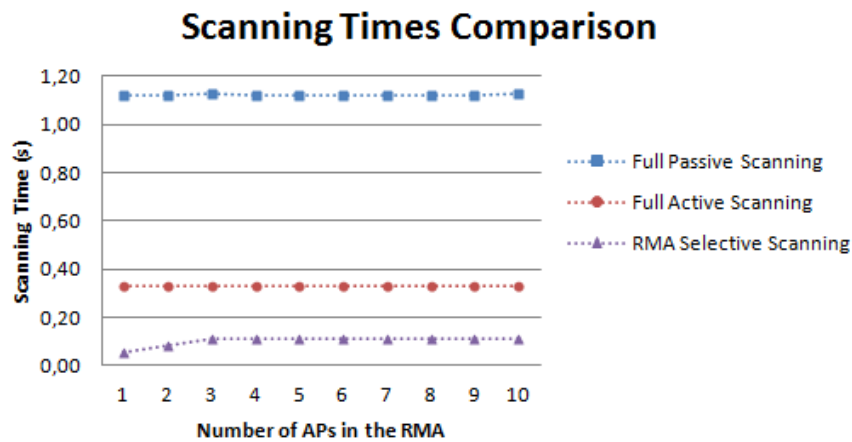


Fig. 2. Full scanning x Selective scanning times

## 5 Conclusion

This paper presented a scheme to reduce the Wi-Fi channel scanning using a decentralized MIIS architecture. The results show that the proposed can refine the traditional Wi-Fi scanning schemes.

**Acknowledgments.** This work was supported by the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through the Project Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2010-482 and the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, Spain) through the Project TEC2010-18894/TCM. This work was also supported by the Security Engineering Research Center, granted by the Ministry of Knowledge Economy (MKE, Korea).

## References

1. Murray, D., Dixon, M., Koziniec, T.: Scanning Delays in 802.11 Networks. In: International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST 2007). IEEE Computer Society (2007)

2. IEEE 802.21 Standard: Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services (2009)
3. Lim, W.S., Kim, D.W., Suh, Y.J., Won, J.J.: Implementation and Performance Study of IEEE 802.21 in Integrated IEEE 802.11/802.16e Networks. *Computer Communications* (2009)
4. Kim, Y., et al.: An enhanced information server for seamless vertical handover in IEEE 802.21 MIH networks. *Comput. Netw.* (2010)
5. Kim, B., Jung, Y., Kim, I., Kim, Y.: Enhanced FMIPv4 Horizontal Handover with Minimized Channel Scanning Time Based on Media Independent Handover (MIH). In: *IEEE NOMS Workshops*, pp. 52–55 (2008)
6. NIST Mobility Package for Network Simulator-2 (2007)





# IEEE 802.21 Information Services deployment for heterogeneous mobile environments

F. Buia<sup>1</sup> L.J.G. Villalba<sup>1</sup> D. Corujo<sup>2</sup> S. Sargento<sup>2</sup> R.L. Aguiar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS), Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (DISIA), Facultad de Informática, Despacho 431, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Calle Profesor José García Santesmases s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain

<sup>2</sup>Instituto de Telecomunicações, University of Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal  
 E-mail: javiergv@fdi.ucm.es

**Abstract:** In the future mobile Internet, a key challenge is how the content is delivered to the mobile user, especially when there are multiple networks belonging to distinct operators. Knowing the network services and conditions available at each one becomes crucial. In order to store information from several networks and operators, the new IEEE 802.21 standard specifies a Media Independent Information Service (MIIS) supporting various information elements (IEs) that provide network information within a geographical area, with the aim of optimising the handover process. Since next-generation wireless devices are expected to support multiple radio access networks, users will be able to maintain connections when switching from one network to another. This article addresses a general approach towards the deployment of a Hierarchical 802.21 Information Service management infrastructure in a heterogeneous mobile environment. Through an NS-2-based simulation, it is shown that the proposed scheme improves the user experience in terms of MIIS server access time and number of optimal handovers in a random mobility scenario.

## 1 Introduction

The plethora of services accessible online has motivated an increasing demand for always-available reliable Internet connectivity. Different technologies and architectures are being developed, catering to the needs of an ever-increasing number of mobile terminals and applications, each with their own requirements for network usage and user preferences. The IEEE 802.21 media independent handover (MIH) [1] standard aims to optimise the handover process by supplying heterogeneous information to a mobility management entity (MME) regarding potential handover targets. The MME can then use this information about the network environment, application requirements and network policies, to generate possible handover opportunities, under an always-best-connected [2] scheme. The MIH framework was applied to several mobility schemes (e.g. [3–11]), providing added dimensions on the realisation of handovers, through the usage of Media-Independent Services, aiming to integrate multiple technologies in multiple scenarios.

However, these previous schemes relied mostly on two parts of the standard, the Media Independent Event Service (MIES) and the Media Independent Command Service (MICS), taking advantage of low-level link information (such as signal strength and network detection) and commands to initiate the handover process. Exploitation of the third component of the standard, the Media Independent Information Service (MIIS), has been very light, leaving it largely undetailed and reducing the MIIS to a lower relevance against the MIES and MICS.

In this paper, we focus on MIIS architecture, pointing out how it can enhance the mobile node's (MNs) experience in different handover scenarios. We propose the support of a hierarchical structure of MIIS to enable the knowledge of the several available network intra- and inter-operator, with increased scalability. The paper is organised as follows. First, the related work focused in the IEEE 802.21 services is presented. Then, we briefly describe the IEEE 802.21 standard. We then move on to present several novel aspects regarding the MIIS framework deployment introducing three levels of MIIS servers. Then, we evaluate the MIIS system performance through simulation results. In the final section we conclude the article with some final considerations.

## 2 Related work

Several projects have begun to explore the IEEE 802.21 services. Lampropoulos *et al.* [3] propose the use of MIH services to meet the Quality of Service (QoS) requirements of applications for minimum disruption during vertical handovers. Pontes *et al.* [4] explore the MIH services addressing the integration of IEEE 802.11 wireless local area networks (WLANs) and IEEE 802.16 wireless metropolitan area networks (WMANs), focusing mainly on the handover management aspects provided by the MIH framework. In [5] the authors discuss some design considerations for a proof-of-concept MIH implementation. The authors in [6] propose an enhanced handover functionality by integrating the Wi-Fi/Wi-Max networks where they consider issues as resource

reservation and power management that are not covered by the IEEE 802.21 standard.

More closed to the MIIS functionality, Mussabbir *et al.* [7] propose a mechanism which optimises the FMIPv6 handover procedure with the assistance of MIH services for vehicular networking. Lim *et al.* [8] make use of the MIIS service providing the MN with a valid channel list stored on the MIIS server. On receiving the MIH Get Information response message, the MN performs a selective scanning procedure, reducing the network discovery time.

In [9], the authors propose integrating the MIH architecture into an IP multi-media subsystem (IMS) in order to optimise the quality of end-to-end service. Their cross-technology architecture considers a hierarchical MIIS infrastructure where MIIS servers exchange information such as QoS and cost-related parameter, but not providing any MIIS infrastructure organisation and specification. Yoo *et al.* [10] propose a predictive handover framework that uses the round trip delay information between neighbour point of attachments (PoAs) to estimate the required handover time, enhancing the handover performance in heterogeneous environments. Christakos *et al.* [11] explore the MIIS service to improve mobility performance for FMIPv6 by providing authentication information allowing the MN to authenticate with the target network while connected elsewhere on the network. Finally, Kim *et al.* [12] introduce an enhanced information server in which the MN periodically reports dynamic information to the MIIS server.

The IEEE 802.21 services presented in the related work have their own specific role on a joint effort for handover optimisation in heterogeneous networks. However, looking at these works that employ models relying on the IEEE 802.21 information service; the facilities provided by the MIIS are largely overlooked and only briefly mentioned. When the MIIS is presented in research work, it typically only covers the following aspects:

- (a) The MIIS is an information server located ‘somewhere’ in the operator’s core network.
- (b) The terminal, or a network entity, sends an MIH Get Information request message to the MIIS server, when a new network is detected for a possible handover opportunity.

This representation of the MIIS role and usability is very lacking in terms of usage details, characteristics and specific information elements (IEs) and procedures used. This factor is also verified in the standard [1] where several important factors are deemed as out-of-scope or not detailed at all. Thereby, we provide in this paper a detailed analysis of the MIIS architecture and its functionalities in an inter-operator heterogeneous environment.

3 IEEE 802.21 standard overview

The IEEE 802.21 standard provides the means for enabling and optimising handovers between heterogeneous technologies. These technologies encompass IEEE 802 networks such as IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (Wi-Fi) and IEEE 802.16 (Wi-Max) and cellular networks such as the ones specified by the Third Generation Partnership Project. To facilitate handovers between these technologies, IEEE 802.21 proposes the addition of a Media Independent Handover Function (MIHF) to 802.21-enabled nodes. This abstracts the different link-layer technologies to upper layer entities, both at the network nodes and at the mobile terminals, allowing them to control and obtain information from lower layers using standardised service access points (SAPs). The communication between the MIHF and high-level entities (deemed MIH-users) is achieved through the MIH\_SAP which supplies a set of abstract primitives to access services pertaining to link-layer technologies. MIHF implementations translate these abstract primitives into link-specific actions. In order to allow the MIHF to be designed independently of the link-layer specifics, a generalised media-independent interface common to all technologies is also defined in IEEE 802.21.

The MIHF can be seen as a unified interface available to upper layers, such as handover decision engines, allowing media-independent access to services for link-layer control and information collection. These algorithms can be thus empowered with information that aids handover handling and optimisation, albeit abstracting detailed aspects of each technology. Fig. 1 shows the general architecture of an IEEE 802.21 network. The services provided by the MIHF

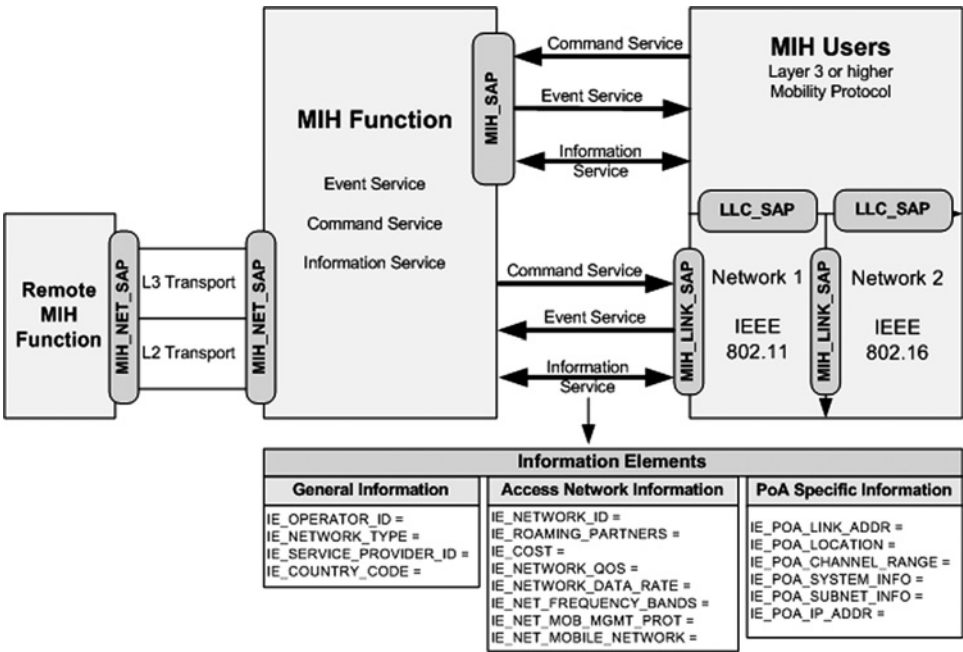


Fig. 1 IEEE 802.21 architecture overview

are the Event, Command and the Information Services. In this paper we focus on analysing the latter. Although some insight is given for MIES and MICS, the reader is referred to [13] for more detailed information.

### 3.1 Media-Independent Event Service

The MIES provides classification, filtering and reporting of events pertaining to dynamic information concerning link status. Events are generated within link layers and sent towards the MIHF. The MIHF propagates these events towards interested MIH users who previously registered to receive them. Events can be generally related to media access control (MAC) and physical layer (PHY) state changes which motivate link event triggers, such as link handover or link transmission events. These events can be used to inform MIH-users about radio conditions, which can trigger a quick handover to preserve connectivity, or switch to a technology which better suites running applications under dynamic conditions.

### 3.2 Media-Independent Command Service

The MICS supplies commands enabling MIH-users to control, configure, manage and send actions to lower layers. Commands follow a top-down direction as opposed to events. There are two categories of commands in this service: MIH commands and link commands. MIH commands are generated by MIH users and sent to the MIHF for processing regarding which target technology the command refers to. Link commands originate from the MIHF and are directed to the specific lower layers, allowing the control of their behaviour. Examples of command usage can be: obtain link-information status; query handover-related information about possible candidate networks and notifying the status of a handover's completion.

### 3.3 Media-Independent Information Service

While the MIES and the MICS are services whose joint efforts allow handover algorithms to acquire information regarding network and terminal conditions, and to control link layers, the MIIS provides a framework to offer and obtain informational details on the characteristics and high-level services available in the serving and candidate networks within a geographical area.

The information supplied by the MIIS is provided in IE which can relate to higher-layer services such as availability of IP mobility schemes at a certain operator, or to lower layer such as link neighbour maps and link configuration parameters. More concretely, information available via the MIIS can be categorised as

- *General and access network-specific information:* General overview of different networks, providing coverage within a specific area such as network type, operator and service identifier. Information including QoS, security, technology revision and cost is also available.
- *Link-connection point information:* Information about points of attachment for each access network available, comprising aspects such as MAC address of the access point, geographical location, channel configuration and so on.
- *Other information:* Network-, service- or vendor-specific information.

The MIIS, as in the essence of the IEEE 802.21 framework, supplies information about different technology handover candidates. Moreover, information about different technologies surrounding the MN, other than the one it is attached to, can be accessed from any single technology. This enables the MN to avoid having to power up individual interfaces to obtain information about particular technologies for handover opportunities, allowing optimal power usage. In Fig. 1, we can see the IE structure as specified in the IEEE 802.21 standard.

In case the terminal has active interfaces able to detect PoAs, it can directly obtain MIIS information prior to authenticate and attach to the network. This is achieved through the transport of MIIS signalling in L2 management frames (such as beaconing) between the MN and an MIHF at the detected PoA. This allows the handover policy function in the MN to obtain information about a PoA without having to actually connect and authenticate to it. To prevent obtaining sensitive information, the information set supplied to unauthenticated nodes has to be limited in scope and capabilities.

### 3.4 Media-independent handover communication framework

The MIHF present in MIH-enabled entities can assume different roles and communication relationships with external entities as well. An MIH PoA is the endpoint of a L2 link that includes an MN as the other endpoint. An MIH Point of Service (PoS) is an MIH-enabled network-side entity that exchanges MIH messages with an MIH-enabled MN. The same network entity can serve as a PoS for multiple MIH-enabled MN. An MIH non-PoS is an MIH-enabled network entity that can directly exchange MIH messages with other MIH network entities but cannot directly exchange MIH messages with an MIH-enabled MN.

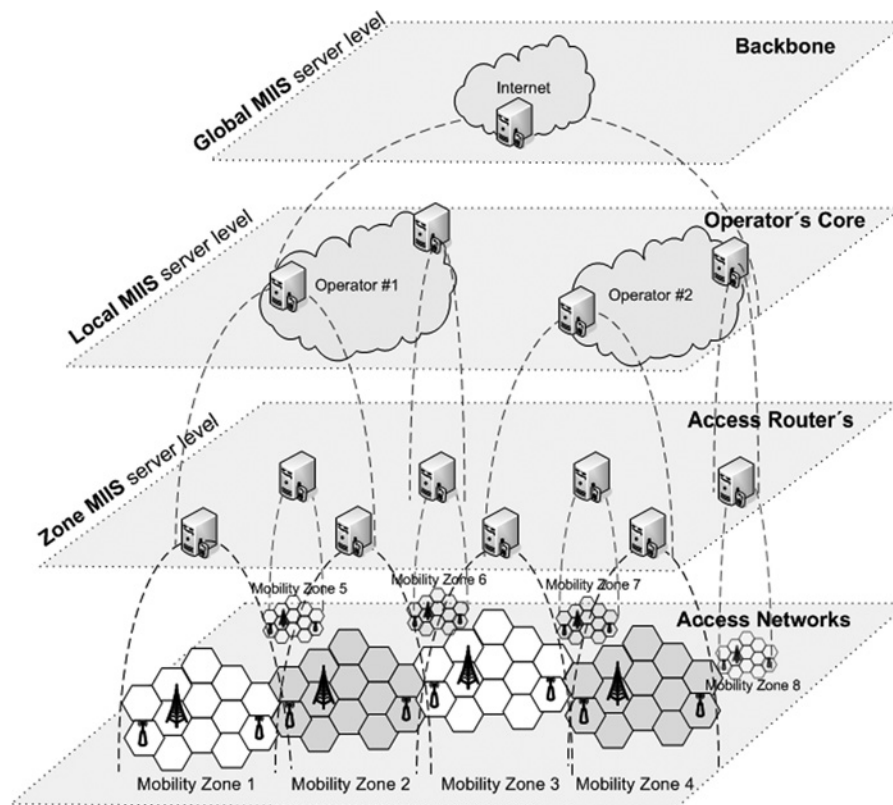
The IEEE 802.21 framework also discusses the MIH protocol which enables the usage of services in remote MIH-enabled entities, allowing the exchange of MIH messages from the MIES, MICS and MIIS between remote MIHFs. Thus, the MIIS can be placed in a server on a network operator's core network, and be accessed for information retrieval via MIH messages.

## 4 Hierarchical MIIS architecture design

In this section, we present potential MIIS architecture deployment and framework issues. A solution considering multiple access networks and operators has to contemplate a hierarchical splitting of the existing information, taking into consideration the amount and detail of specific points of attachment of a single access network and the combination of all this detail for a number of access networks and different operators. Considering this, and in order to improve the MIIS response in quality, we apply this splitting to the MIIS deployment in which the network coverage is divided into mobility zones, managed by three levels of MIIS servers in a hierarchical manner, as illustrated in Fig. 2.

From bottom to up, the first level of the hierarchy is composed by mobility zones defined by the amount of existing networks, users, while even considering areas where networks are overlapped. In the second level, a zone MIIS server (ZMIIS) is in charge of supplying highly detailed information about specific network end points in a particular zone or mobility region. The third level refers to





**Fig. 2** Hierarchical MIIS architecture design

the local MIIS server (LMIIS) which manages the exchange of information between different networks managed by the same operator and the zone MIISs therein; and a fourth top level refers to the global MIIS server (GMIIS) which can be used to forward requests in multi-operator scenarios. Therefore a hierarchical view of the MIIS information structure can be achieved with specific nodes containing the detailed information, and higher hierarchical nodes enabling the interchange of the information from zone to zone. We analyse these different MIIS levels by specifying three mobility handover schemes:

#### 4.1 Zone-mobility handover

The zone-mobility handover considers a ZMIIS server containing and controlling the information details of a single mobility zone, for a single operator. This segmentation of an operator's coverage is owing to the fact that an operator can cover a large city or even a whole country, with dozens of different access points of different technologies. One ZMIIS server can manage several access networks of different technologies and one operator can have several ZMIIS servers.

In a zone-mobility handover, the MN performs a handover from two access networks (media independently), where both networks belong to the same operator and are governed by one common ZMIIS. In the movement from one network coverage to another, the MME residing at the MN receives an MIH link-detected trigger from the MIHF and sends an MIH Get Information request message (containing the detected PoA identifier) to the ZMIIS server. On receiving the request, the ZMIIS checks if the detected PoA is registered, sending the MIH Get Information response with detailed information about the PoA back to the MN. If the detected PoA is not registered, the ZMIIS forwards the

request to the upper MIIS server in the hierarchy, which is described in the next scenario.

One can argue that most existing outdoors 802.11 access points (APs) are not registered in the MIIS server and are independently managed by commercial shops or by small companies. Nevertheless, operators are experiencing heavy growth in the 3G band usage. Some of them are changing their business model, displacing the mobile users from 3G networks to Wi-Fi hotspots managed by them, when the load in the 3G network is too great. As an example, no full form (FON) and British telecom announced that they had jointly created the BT FON Community (BT FON Community, <http://www.btfon.com/>), name given to a network of 2.8 million Wi-Fi hotspots mostly found in cafés, hotels and airports. The trend is that the amount of small coverage PoAs managed by operators is to increase more and more.

The deployment of this kind of MIIS server has two major benefits. The first one is that the MN receives information only related to its general neighbourhood environment, diminishing the MIIS information response in size. The second advantage is that since the MIIS is implemented inside the operator's zone, the MN can also have direct L2 access to it, diminishing the response time. These two access methods enable both network-controlled handover and mobile-controlled handovers [14], where in the first case the MME at the network can use the MIIS to obtain detailed information prior to the handover decision, and in the later, the MME at the terminal can query the information itself.

#### 4.2 Local-mobility handover

In this handover scheme, an LMIIS server can manage the information exchange between several ZMIIS servers belonging to a single operator. This LMIIS stores a light set

of information about all the zones it manages, being aware of which ZMIIS servers are related to which specific zone. The local-mobility handover considers an MN performing a handover where the target network belongs to another zone, but in the same operator. In this case, the MN asks the ZMIIS server about the detected PoA. As the ZMIIS has no information about the PoA, it forwards the request to the upper MIIS, that is, the LMIIS server that has a list of all neighbourhood PoAs. Looking inside the list, the LMIIS knows which ZMIIS has the information, forwarding the request to it. On receiving the message, the correspondent ZMIIS server responds to the MN with the correct information.

The deployment of an LMIIS controlling the ZMIIS of specific zones has three major benefits. The first one is that the LMIIS has a high-level control about the information about all the zones and its networks, by knowing to which specific ZMIIS to redirect the information requests. The second one is that by filtering and pushing information between zones, a greater degree of options for MN handover is possible. Finally, the LMIIS can be a network entity able to interact with the operator's authentication, authorisation and accounting (AAA) infrastructure, enabling it to determine if specific information details are available to nodes depending on their authentication.

### 4.3 Global-mobility handover

The final kind of handover considers an MIIS server in a multiple operator environment. There are two possibilities for this kind of scenario: (i) the LMIIS of operator A exchanges information with the local MIIS of operator B or (ii) there can be a higher-level MIIS, the GMIIS, which is able to forward information requests between operators.

A first consideration for this matter is that, to provide information interchange, inter-operator agreements should be employed to determine the information that is available. A collaboration agreement should be set between operators for information services availability. This is critical, because this scenario relies on an operator supplying information to another operator. However, if the MME does not have a clear picture of the handover possibilities, it will not have an optimised handover decision, so policies between operators that enable inter-operator handovers are envisaged in these environments.

Performing a global-mobility handover, the MN moves between two different operators. As the detected PoA does not belong to the same operator, the request is forwarded until the correspondent ZMIIS, through the GMIIS that knows exactly where the information is located. If the GMIIS has no information about the PoA, it means that the PoA is not registered, may be a residential PoA or any particular network. Similarly, with the LMIIS server, the GMIIS does not store any specific PoA information.

Accessing critical information from other operator through non-secure links, and third party servers, raises important security issues as well. Other than service agreements, the LMIIS servers must be able to access AAA frameworks where users can be authenticated prior to do the information query. One solution in secure inter-domain handover is presented in [15]. The authors propose a handover optimisation framework denoted media independent pre-authentication (MPA) that enhances the inter-domain and inter-technology handover. The MPA specifies that an MN can establish a security association with the candidate network before it attaches to it and, subsequently, performs a security communication. Using such technique, two or more different MIIS can establish a secure communication and interchange information.

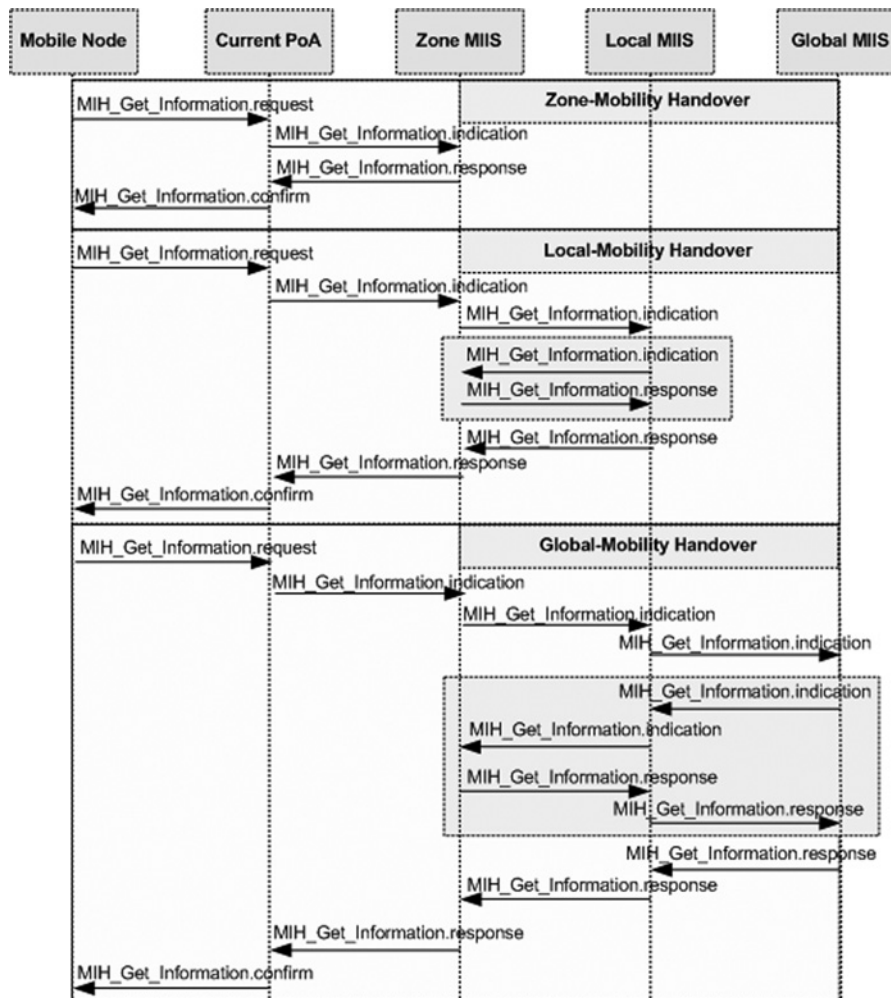
Table 1 summarises the main characteristics of each MIIS server deployment scenario. One further consideration must be done regarding the hierarchical MIIS architecture. The usage of a particular one depends on the operator's network infrastructure and business and commercial strategies. We are envisioning the GMIIS deployment as a part of the future mobile Internet, which will allow the mobile user to move between several networks in a seamless manner.

### 4.4 Signalling flow

The signalling flow illustrating the three types of mobility is shown in Fig. 3. Whenever an MN wishes to obtain information regarding the surrounding networks, it sends a MIH Get Information request message to its ZMIIS server. The available options to the MN are to send the message when it detects a new network or when the signal level is dropping below pre-defined thresholds. In this work we have opted for the first method of triggering the MIIS query message because in the second method, depending on the threshold configuration, the information query response can

**Table 1** MIIS deployment scenarios comparison

Deployment	Architecture	Comments	Number of discovered PoA	Signalling
zone MIIS	centralised, direct access to zone-specific MIIS server	easiest to deploy, single MIIS in a single zone. unscalable	small, only zone-specific PoA information is available	best performance, quick replay to zone-specific PoAs
local MIIS	hybrid, direct MIIS server can forward information request to a server in correct zone	high-level control about several MIIS zones, needs inter-MIIS protocol and updates regarding zoning. Fully trusted administrative domain	medium, can redirect to other MIIS for PoAs belonging to another zones	it has a longer RTT but offers more candidate PoAs to handover, from different zones
global MIIS	fully distributed, can contain multi-operator information, depending on service agreements	support for inter-domain handovers, requires inter-operator service agreements and inter-MIIS protocol	large, can obtain information from PoAs of another operator	as GMIIS acts as a single proxy to the others MIIS, it has a good signalling performance, but requires up-to-date proxying information between zone, local and GMIISs



**Fig. 3** MIIS signalling flow

be lost if the MN has completely lost connectivity with its PoA [14]. The MN sends an MIH Get Information request message to the ZMIIS server through the current PoA link. If the query is related to an entity inside that zone, this is deemed a zone-mobility handover. In this way, the ZMIIS server replies with information about the detected PoA.

A local-mobility handover takes place when the query is related to an entity outside that zone, so the ZMIIS forwards the MIH Get Information request to its respective LMIIS server which is able to contact the correspondent target's ZMIIS and obtain the required information. In the case that the request zone belongs to another operator, the LMIIS is able to forward the message to a GMIIS server, acting as an interface pointer between relevant mobility regions of different operators. In this way, the GMIIS is able to provide information on which ZMIIS server holds the desired information, to which it forwards the MIH Get Information response message. A handover such as this is deemed a global-mobility handover. In case none of the MIIS servers store information about the detected PoA, the GMIIS server replies with a null MIH Get Information response message.

One important issue preceding the message exchange lies with the MIIS server discovery. This mainly depends on the MIIS server position in the network. The objective is to provide the MN with the MIIS IP address. Efforts were made underway to specify two discovery techniques: domain name system (DNS) and dynamic host configuration protocol (DHCP) mechanisms. For a detailed operation of mechanisms, see [16, 17], respectively. We argue that this configuration could be done in

the same way that the MN is preconfigured with local DNS, gateway and DHCP server information.

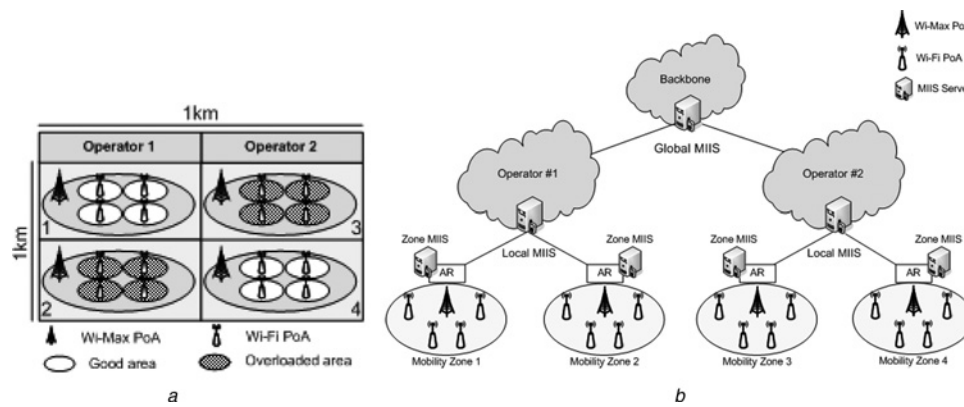
## 5 Performance evaluation

In this section we present the simulation environment used to evaluate the hierarchical MIIS architecture as well as the obtained numerical results. We implemented the MIIS functionality enhancing the existing MIH implementation in the ns-2 (Developed by the NIST Project, 'Seamless and Secure Mobility Tool Suites', May 2007.) simulation software package. The simulation study has two main purposes: (i) evaluate the average MIIS server access time; and (ii) determine the number of optimal handovers using the hierarchical MIIS in a random mobility scenario. Finally, a performance comparison between our hierarchical MIIS architecture against one featuring a single standard MIIS is done.

### 5.1 Simulation environment

The scenario (Fig. 4a) is composed by two interconnected operators in a 1 km × 1 km square area, where each operator features two mobility zones, making a total of four mobility zones (Zone1, Zone2, Zone3 and Zone4). There are five PoAs per mobility zone (one Wi-Max and four Wi-Fi) and the transmission range of each one is 500 m for Wi-Max and 250 m for Wi-Fi. All the connections in the core side of the network are wired and the connection between the MN and the PoA is wireless. For this scenario, the handover selection





**Fig. 4** Simulation scenario

*a* Simulation topology  
*b* MIIS physical network placement

criteria (in order of desirability) is Wi-Fi PoAs (good areas), Wi-Max networks and Wi-Fi PoAs (overloaded areas).

Fig. 4*b* illustrates the physical network placement of each MIIS server. For each single operator, the ZMIIS server is installed on the access router of a mobility zone, and the LMIIS server is installed on the core network side. In this way, each operator has two ZMIIS servers and one LMIIS server. The GMIIS is a server located in a common federative or administrative space. We assume that the two operators have a business agreement and are willing to share information. Finally, the user moves around in a random way using a multi-modal MIH-capable wireless device, performing several handovers. The network parameters for the simulation are described in Table 2. We have conducted 20 simulation runs using independent and identically random seed values. In this simulated scenario, an MIH Get Information request message is triggered when the MN receives a 'link detected' signal from the MIH, that is, when a new PoA is detected. The total simulation time is 7200 s.

## 5.2 Numerical evaluation

To verify that the hierarchical MIIS architecture achieves better results than the conventional MIIS system, two main metrics are evaluated:

1. The average MIIS server access time for finding PoA information, for different probabilities of missing information in each MIIS server.
2. The mean number of optimal handovers.

**Table 2** Simulation parameters values

Parameter	Value
total simulation time	7200 s
topology area	1 km × 1 km
number of operators	2
number of mobility zones	4 (two for each operator)
number of PoAs	20 (five for each mobility zone)
Wi-Max PoA transmission range	500 m
Wi-Fi PoA transmission range	250 m
number of ZMIIS server	4 (one for each mobility zone)
number of LMIIS server	2 (one for each operator)
number of GMIIS server	1
number of MN	1
mobility model	random waypoint
MN speed	3 m/s
pause time	5 s

**5.2.1 Average MIIS server access time against probability for finding information:** The MIIS server access time is the total time taken by MIH protocol messages, from the instant MN requests for network information sending an MIH Get Information request, up to the time where the MN receives an MIH Get Information response from an MIIS server.

We can calculate the MIIS server access time by defining a simple analytical model. Consider that  $\alpha$  is the transmission delay on wireless link,  $\beta$  is the transmission delay on wired link,  $\gamma$  is the transmission cost per one hop in the current access link-layer technology and  $H_{x-y}$  is the number of hops between two network entities ( $x$  denotes the transmitter and  $y$  denotes the receiver). The performance measurements consider the parameters values illustrated in Table 3, close to the values used in [10, 18]. Regarding the wireless link delay, the evaluation shows that the one-way delay depends on the radio access technology. For Wi-Fi link, the delay is approximately 7–12 ms and for Wi-Max is 10–13 ms.

The required time ( $T$ ) to get information from the zone MIIS is given by

$$T_{ZMIIS} = 2\gamma(\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-ZMIIS})) \quad (1)$$

The required time using the local MIIS can be represented by

$$T_{LMIIS} = T_{ZMIIS} + 2\gamma\beta(H_{ZMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS}) \quad (2)$$

Finally, the time experienced by the user to get information using the global MIIS is given by

$$T_{GMIIS} = T_{LMIIS} + 2\gamma\beta(H_{LMIIS-GMIIS} + H_{GMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS}) \quad (3)$$

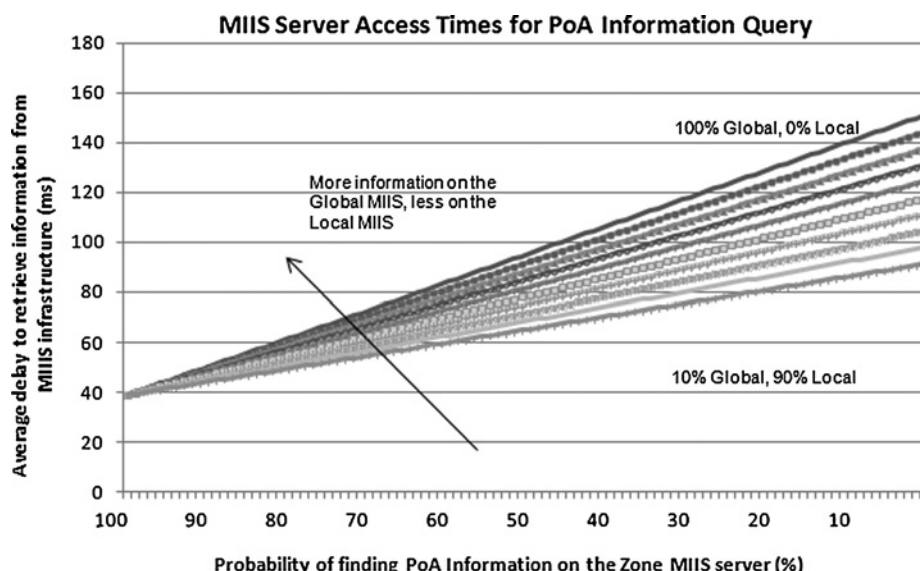
Fig. 5 presents the average MIIS server access time for finding PoA information, for different probabilities of missing information on the ZMIIS server, and with different curves for different probabilities of missing information on the LMIIS server. Our simulation results show that the user experiences an average MIIS server access time from 39 ms (using the ZMIIS server), 85 ms (using the LMIIS server) up to 152 ms (using the GMIIS server) for the best, medium and worst probability of finding PoA information.

The results clearly show that if the information exists at the closest server, the response is faster, but if the information is only available after contacting the higher hierarchical MIIS



**Table 3** Analytical model parameters values

Parameter	Value	Description
$\alpha$	real time	transmission delay on wireless link
$\beta$	5 ms	transmission delay on wired link
$\gamma$	1	transmission cost per hop in the current radio technology
$H_{MN-PoA}$	1	hop count between MN and PoA
$H_{PoA-ZMIIS}, H_{ZMIIS-PoA}$	1	hop count between PoA and the zone MIIS
$H_{ZMIIS-LMIIS}, H_{LMIIS-ZMIIS}$	2	hop count between zone MIIS and the local MIIS
$H_{LMIIS-GMIIS}, H_{GMIIS-LMIIS}$	3	hop count between local MIIS and the global MIIS


**Fig. 5** MIIS server access times for information query

server, we have to account for longer processing time plus the added request time towards the second (or third) server. Nevertheless, if the target MIIS is more hops away, the MN's radio could go to low power mode while wait for the response, presenting a clear trade-off between power consumption, quality of the received information and response speed.

**5.2.2 Mean number of optimal handovers:** One important issue in 802.21 random mobility scenarios is the number of optimal handovers that would be triggered by the MN. In the simulated scenario, after receiving the response message from any MIIS server, the MN performs a handover if the detected PoA has better characteristics than the PoA that the MN is actually connected.

Therefore a comparison between the hierarchical MIIS architecture and the standard MIIS is drawn. We compare the mean number of optimal handovers value to prove that our hierarchical mechanism outperforms the standard MIIS deployment. It is also necessary to take in account that the

ZMIIS is located closer to the MN, the LMIIS is installed on the operator's core network and the GMIIS is a server located in a common administrative space. The related work and also the IEEE 802.21 standard specify only one MIIS server that could be located inside the operator or in a common backbone. If the standard MIIS is located inside the operator, it has the same physical location than the LMIIS server, but not having the ability to communicate with MIIS servers from other operators. We designated this MIIS as standard local. In another way, the standard MIIS could be serving more than one operator, acting as a GMIIS server, deemed standard global.

Based on the discovered time values previously obtained, we simulated a scenario in which the MN moves in a random way around the area during 7200 s. The results can be seen in Table 4.

During the total simulation time, the MN triggers a total of 88 MIIS queries, being 33 in Zone1, 24 in Zone2, 22 in Zone3 and 9 in Zone4. We first calculate the MIIS total query time

**Table 4** Average MIIS query delay against mean number of handovers

MIIS	No. of MIIS queries	Average query delay, ms	Total query time, ms	No. of optimal HO
standard local (Operator1)	57	76	4332	34
standard local (Operator2)	31	76	2356	8
standard global	88	133	11 704	42
hierarchical MIIS (sum)	88	–	6629	42
zone	52	39	2028	–
local	13	85	1105	–
global	23	152	3496	–

and then the mean number of optimal handovers. To calculate the MIIS total query time using the standard local MIIS, two assumptions must be considered; the MN can be initialised in the Operator1 or Operator2. Using the standard local MIIS with Operator1, the MN triggers a total of 57 MIIS queries (Zone1 + Zone2) consuming 4.3 s. If it is attached to the Operator2, 31 queries are performed (Zone3 + Zone4) consuming 2.3 s. In a standard global MIIS deployment, the MN takes more than 11.7 s to perform all the 88 MIIS queries. Using the hierarchical MIIS architecture, the 88 MIIS queries are divided as: 52 using the ZMIIS, 13 using the LMIIS and 23 with the GMIIS. Adding all the times (zone, local and global), 6.6 s are necessary to trigger the MIIS queries.

With respect to the mean number of optimal handovers undertaken by the MN, using the standard local (Operator1) the MN performs 34 handovers. If the MN was initialised in Operator2, only eight optimal handovers are performed. If the standard MIIS is deployed as a GMIIS, allowing inter-operator handovers, the MN performs the same number of optimal handovers than the hierarchical architecture (total of 42), but takes 11.7 s, almost twice the time obtained by our proposal.

The above results show that the deployment of a hierarchical MIIS architecture, in which the access networks are grouped in mobility regions managed by different MIIS servers, enhances the performance of the MN in terms of number of optimal handovers and total MIIS server access delay if compared with the IEEE 802.21 standard MIIS deployment and the existing centralised MIIS implementations.

## 6 Conclusion

This work considered the important role that the MIIS, a typically overlooked service of the IEEE 802.21 standard, can have regarding the supply of vital data for handover decision. The deployment of this hierarchical view of information storage regarding multiple-operator scenarios with different access and types of networks provides a major benefit where a terminal, is provided with a complete and consistent view of detailed handover possibilities, without having that information stored in a single central entity. Also, this information availability can also be pushed to the terminal at bootstrap providing it with a view of nearby existing networks, to determine which interfaces to power up or to achieve an optimised connection right from the start.

## 7 Acknowledgments

This work was supported by the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through the Project

Avanza Competitividad I + D + I TSI-020100-2010-482 and the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) through the Project TEC2010-18894/TCM.

## 8 References

- 1 IEEE 802.21 Standard: 'Local and metropolitan area networks – Part 21: media independent handover services', January 2009
- 2 Gustafsson, E., Johnson, A.: 'Always best connected', *IEEE Wirel. Commun.*, 2003, **10**, (1), pp. 49–55
- 3 Lampropoulos, G., Salkintzis, A.K., Passas, N.: 'Media-independent handover for seamless service provision in heterogeneous networks', *IEEE Commun. Mag.*, 2008, **46**, (1), pp. 64–71
- 4 Pontes, A., dos Passos Silva, D., Jailton, J., Rodrigues, O., Dias, K.L.: 'Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks', *IEEE Wirel. Commun.*, 2008, **15**, (5), pp. 86–95
- 5 Taniuchi, K., Ohba, Y., Das, S., *et al.*: 'IEEE 802.21: media independent handover: features, applicability, realization', *IEEE Commun. Mag.*, 2009, **47**, (1), pp. 112–120
- 6 Lampropoulos, G., Skianis, C., Neves, P.: 'Optimized fusion of heterogeneous wireless networks based on media-independent handover operations', *IEEE Wirel. Commun.*, 2010, **17**, (4), pp. 78–87
- 7 Mussabbir, Q., Yao, W., Niu, Z., Fu, X.: 'Optimized FMIPv6 using IEEE 802.21 MIH services in vehicular networks', *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2007, **56**, (6), pp. 3397–3407
- 8 Lim, W.-S., Kim, D.-W., Suh, Y.-J., Won, J.-J.: 'Implementation and performance study of IEEE 802.21 in integrated IEEE 802.11/802.16e networks', *Comput. Commun.*, 2009, **32**, (1), pp. 134–143
- 9 Floroiu, J., Corici, M., Lee, B.-J., Lee, S., Arbanowski, S., Magedanz, T.: 'A vertical handover architecture for end-to-end service optimization'. 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, July 2007
- 10 Yoo, S.-J., Cypher, D., Golmie, N.: 'Timely effective handover mechanism in heterogeneous wireless networks'. Proc. Springer Wireless Personal Communications, 2008
- 11 Christakos, C., Izquierdo, A., Rouil, R., Golmie, N.: 'Using the media independent information service to support mobile authentication in fast mobile IPv6'. Wireless Communications and Networking Conf., WCNC, March 2009
- 12 Kim, Y., Pack, S., Kang, C., Park, S.: 'An enhanced information server for seamless vertical handover in IEEE 802.21 MIH networks', *Comput. Netw.*, 2011, **55**, (1), pp. 147–158
- 13 De La Oliva, A., Banchs, A., Soto, I., Melia, T., Vidal, A.: 'An overview of IEEE 802.21: media-independent handover services', *IEEE Wirel. Commun.*, 2008, **15**, (4), pp. 96–103
- 14 Melia, T., Corujo, D., de la Oliva, A., Vidal, A., Aguiar, R., Soto, I.: 'Impact of heterogeneous network controlled handovers on multi-mode mobile device design'. Wireless Communications and Networking Conf., 2007, WCNC 2007, March 2007
- 15 Dutta, A., Famolari, D., Das, S., *et al.*: 'Media-independent pre-authentication supporting secure interdomain handover optimization', *IEEE Wirel. Commun.*, 2008, **15**, (2), pp. 55–64
- 16 Bajko, G.: 'Locating IEEE 802.21 mobility servers using DNS', RFC 5679, November 2009
- 17 Bajko, G., Das, S.: 'Dynamic Host Configuration Protocol (DHCPv4 and DHCPv6) options for Mobility Server (MoS) discovery', RFC 5678, December 2009
- 18 Buiati, F., Villalba, L.J.G., Corujo, D., Soares, J., Sargento, S., Aguiar, R.L.: 'Hierarchical neighbour discovery scheme for handover optimization', *IEEE Commun. Lett.*, 2010, **14**, (11), pp. 1020–1022



# Servidor de Información IEEE 802.21 Dinámico con Arquitectura de Malla para Redes Heterogéneas

Daniel Espino García, Roberto González de Armas, Jesús Puente Fernández,  
Fabio Buiati, Luis Javier García Villalba

{despino, rgarmas, jesusantoniopuente}@estumail.ucm.es, {fabio, javiergv}@fdi.ucm.es

Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS), Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática, Despacho 431, Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
Calle Profesor José García Santesmases s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

**Abstract**— On the future of wireless networks, we find multiple heterogeneous networks, like Wi-Max (IEEE 802.16) Wi-Fi (IEEE 802.11), UTMS or HSDPA. This is the ground to provide the mobile nodes the ability to choose by different criteria. On the IEEE standard 802.21 is proposed a centralized information service, which sends the mobile nodes the static information of the point of attachments in its surroundings. This paper propose a distributed architecture for these services, in a mesh fashion. Also, it includes dynamic information, useful to the handover process. In comparison with the centralized model, it achieves advantages on robustness and scalability. Also, contrasting with other hierarchical models, accomplish a gain on the latency.

## I. INTRODUCCIÓN

El estándar 802.21 del IEEE [1] (Media Independent Handover) tiene como objetivo optimizar la transición entre tecnologías inalámbricas heterogéneas. Este tipo de transiciones entre diferentes tecnologías (Wi-Max, Wi-Fi...) se conoce como Transición Vertical (Vertical Handover), como se muestra en la Fig. 1.

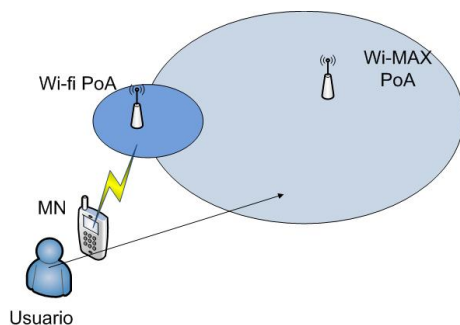


Fig. 1. Transición vertical.

Para facilitar la transición entre estas tecnologías, el estándar 802.21 propone la inclusión de una entidad llamada “función de transición independiente del medio” (Media Independent Handover Function MIHF). Esta entidad puede ver como una interfaz añadida a las capas superiores, para llevar a cabo las decisiones relativas a las transiciones.

Para tomar estas decisiones, el estándar 802.21 usa tres diferentes servicios (véase Fig. 2):

- *Servicio de Eventos Independientes del Medio (Media Independent Event Service - MIES)*: Es un servicio que

detecta cambios en las propiedades de la capa física y de enlace y dispara eventos que son enviados a la función MIH. Estos eventos pueden ser generados tanto en el MIH local como en MIH remotos. Un ejemplo de un servicio de evento es el nivel de recepción de la potencia de la señal por parte de un nodo móvil. Cuando la señal empieza a ponerse débil la capa de enlace envía un evento a la función MIH. Basándose en esta información, el usuario móvil cambia la conexión para una red que tenga mejor señal de recepción.

- *Servicio de Comandos Independientes del Medio (Media Independent Command Service - MICS)*: Son servicios que permiten a los usuarios MIH controlar, configurar y obtener información de las capas inferiores incluyendo la capa de enlace y la capa física. Como ejemplo, se puede mencionar el comando *Link Get Parameters* que permite a los usuarios MIH descubrir información de la interfaz activa como la relación señal ruido, tasa de errores de datos, nivel de recepción de la señal, etc.
- *Servicio de Información Independiente del Medio (Media Independent Information Service - MIIS)*: Ofrece mecanismos que permiten a una función MIH descubrir y obtener información de las redes existentes dentro de un área geográfica. Se puede modelar el servicio de información como una base de datos que almacena la información de las redes como: tipo de red, frecuencia utilizada, seguridad, coste del servicio, velocidad de transmisión, configuraciones IP, etc.

Los servicios previamente mencionados están detallados en [2]. Varios proyectos han empezado a explorar los servicios del 802.21. Lampropoulos et al [3] propone el uso de los servicios MIH para alcanzar los requisitos de calidad de servicio de las aplicaciones para una interrupción mínima durante los handovers verticales. Pontes et al [4] utiliza los servicios MIH que abordan la integración del IEEE 802.11 WLANs y IEEE 802.16 WMANs, centrándose principalmente en los aspectos de gestión del handover proporcionados por el framework MIH. En el estándar, el MIIS usa un servidor centralizado que contiene toda la información de su área geográfica. Este servidor proporciona los “elementos de información” (Information Elements IE), que contienen la información estática

de las redes y PoAs. Con estos IE, el “nodo móvil” (Mobile Node MN) descubre y decide el mejor PoA para ejecutar el handover. El modelo centralizado no es escalable ni eficiente. Para mejorar esto, varios autores han desarrollado diferentes arquitecturas. El modelo más extendido es el jerárquico. En [5] Buiati et al. propone una jerarquía de tres niveles: área, operador, y global. En [6] De Vogeleer et al. propone un sistema con tablas hash distribuidas.

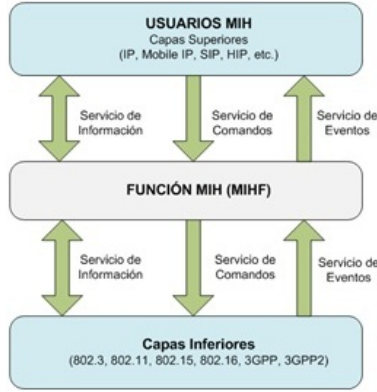


Fig. 2. Arquitectura general del estándar IEEE 802.21.

## II. SERVIDOR DE INFORMACIÓN IEEE 802.21 DINÁMICO CON ARQUITECTURA DE MALLA

En este artículo se propone un MIIS distribuido en una malla de servidores. Cada servidor almacenará, distribuirá, administrará y actualizará información dinámica y estática de los PoAs. Esta información será recogida tanto de los MN como de los PoA. Usando esta información, y aprovechando la distribución en malla, conseguimos mejoras en el tiempo de acceso y la calidad de los datos. A continuación se explica la estructura de la información usada en este sistema, y su comportamiento.

### II-A. Estructura de la Información

Usando la distinción en los tipos de información, propuesta por Neves et al en [7], la información del PoA guardada en el sistema está dividida en dos categorías: Información Estática, e Información Dinámica. La información estática está ya definida en el estándar [1] como los IE de la red, y del PoA. La información dinámica está compuesto también por dos tipos distintos: La Información Suministrada por el PoA (ISP) y la Información suministrada por el MN (ISM).

La ISP cubre toda la información que cambia dinámicamente en el PoA, y es útil para el proceso de decisión de la transición. Ejemplos de esta información son la sobrecarga de la red, el ancho de banda disponible, la tasa de pérdida de paquetes o propiedades de la capa de enlace.

El ISM se basa en el trabajo de Younghyun et al [8]. Guardando la calidad de la señal en diferentes puntos, podemos calcular de manera estadística cual será la calidad en otro punto. Para esto usamos las Tuplas de Información Estadística (TIE). Las TIE almacenan la calidad de la señal, la posición

de la muestra, y el momento en que se tomó. Además, estas TIE se almacenan en dos listas diferentes en los servidores: la Lista Larga de Información Estadística (LLIE) y la Lista Corta de Información Estadística (LCIE). En la Fig. 3 se ve un breve esquema de cómo está almacenada esta información.

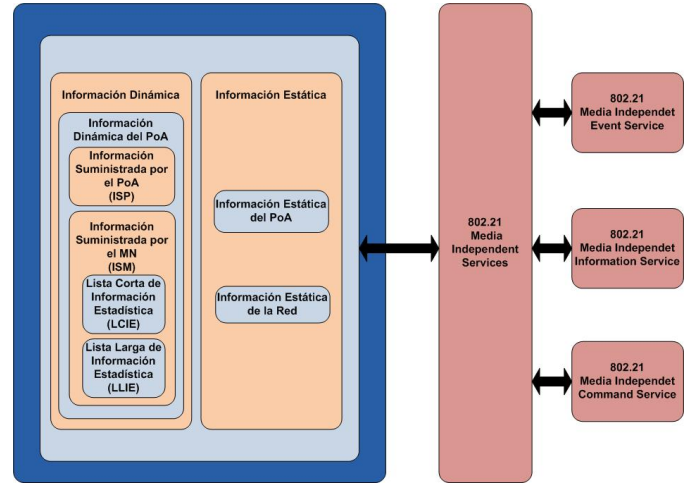


Fig. 3. Estructura de la información.

### II-B. Comportamiento

Un servidor MIIS almacena la información de todos los PoA en su área. Además, las áreas de los servidores vecinos se superponen, como muestra la Fig. 4. De esta manera, aumentamos la robustez del sistema. La información estática de los PoA es proporcionada por éstos al registrarse en el sistema. Además, la ISP se envía periódicamente a través de las actualizaciones que realiza el PoA. En lo relativo a la ISM, el mensaje MIH\_Get\_Information\_Request del estándar, ha sido modificado para que lleve “a caballo” una TIE. Todas las TIE se almacenarán en la LCIE. Una vez se llena la LCIE, se vuelca su información sobre la LLIE, y se distribuye al resto a los vecinos. Esta distribución se hace tan sólo a aquellos servidores que vayan a usar la lista, es decir, a aquellos sobre los que el PoA tenga cobertura.

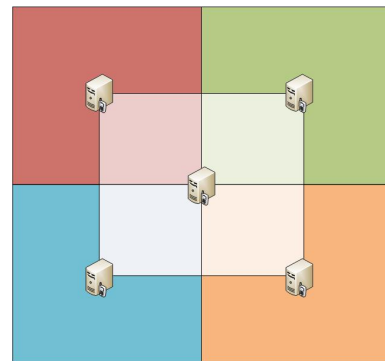


Fig. 4. Área de la malla de servidores.

La LLIE se usa para calcular la calidad del PoA en la posición del MN. Esta estimación es usada, junto con el



resto de la información dinámica y estática, para ofrecer al MN el mejor PoA, según las preferencias del usuario. Estas peticiones de información, serán enviadas a un servidor MIIS previamente asignado. En primer lugar, este servidor MIIS es asignado por el PoA en el que se ha conectado el MN. El servidor que asigna es el mismo en el que el PoA se registró. A partir de ahí, el sistema puede proponer al MN un servidor distinto, determinado por la posición actual del MN, para optimizar el número de saltos.

### III. EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

En esta sección probamos las características de esta arquitectura. La simulación ha sido desarrollada con el simulador NS-2 usando la implementación de MIH. Esta simulación tiene como objetivo evaluar el round time trip (RTT) de la petición de información y para estimar la latencia media del handover.

Para estos resultados suponemos handover óptimos, es decir, el nodo móvil siempre tiene acceso al mejor PoA. De forma adicional, a través de varios modelos analíticos se justifica la escalabilidad en el sistema en comparación con el modelo centralizado. Los parámetros y supuestos utilizados en la simulación se detallan en la Tabla I.

TABLE I  
SUPUESTOS PARA LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO

Parámetros	Valor	-
Tiempo de reenvío del servidor	5s	$\gamma$
Tiempo de proceso de la respuesta	10s	$\delta$
Retardo del canal inalámbrico	7s	$\alpha$
Retardo del canal cableado	8s	$\beta$

Para la medida del RTT de la petición de información se asume la ecuación 1:

$$RTT_{peticion} = 2 * a + 2 * num_{saltos} * (\beta + \gamma) + \delta \quad (1)$$

Los parámetros obtenidos del escenario simulado de la Fig. 5 están representados en la Tabla II.

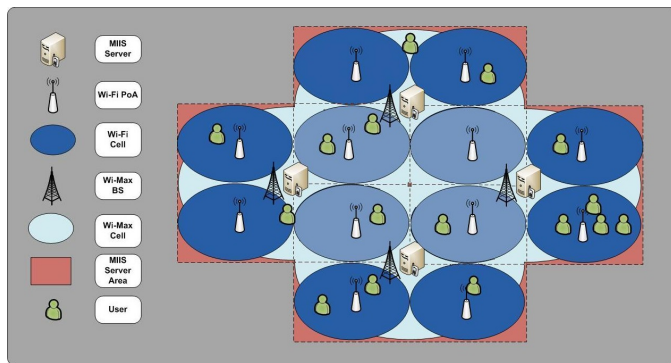


Fig. 5. Escenario.

Para estos resultados suponemos la latencia del handover como el tiempo desde que el MN envía la petición de información al servidor MIIS hasta cuando el MN recibe el mensaje MIH MN\_Handover\_Complete detallado en [1]. El

TABLE II  
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO

Parámetros	Valor
Tiempo total de simulación	7200 s
Topología del área	3km x 3km
Número de zonas de movilidad	4
Número de PoAs Wi-Fi	16
Número de PoAs Wi-Max	4
Radio transmisión PoA Wi-Fi	100 m,
Número de servidores MIIS	4
Modelo de movilidad	Random Waypoint
Número de MN	1
Velocidad del MN	3 m/s
Tiempo entre peticiones	5s
Tiempo entre actualizaciones del PoA	20s

procedimiento normal de handover es activado por la respuesta de la petición periódica de información.

Los resultados obtenidos por la simulación se muestran en la Tabla III. Con esta simulación se prueba que el número de saltos se encuentra en torno a 1.5, y el tiempo de transición promedio es menor que el mencionado en trabajos previos.

TABLE III  
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Descripción	Valor
Número de HO entre Wi-Fi - Wi-Max	114
Latencia Media HO (Wi-Max - Wi-Fi)	430 ms
Latencia Media HO (Wi-Fi - WiMax)	376 ms
Número de peticiones	1223
Número de peticiones directas	731
Número de peticiones en 2 saltos	367
Número de peticiones en 3 saltos	125
Número Medio de peticiones RTT	63.1 ms

Con estos supuestos, hemos desarrollado modelos analíticos. El primero calcula la salida de los servidores MIIS. Con este modelo, y otro similar para el modelo centralizado con información dinámica, podemos ver la relación entre las dos arquitecturas.

En la Fig. 6 podemos ver la salida para diferente número de servidores. Podemos ver claramente que con muy pocos usuarios, la salida de de cada servidor es menor que la del centralizado. Con suficientes usuarios, podemos llegar a una ganancia de hasta 20 veces. Además usando más servidores, podemos mejorar estos valores, aunque llegados a un punto, se produce demasiada sobrecarga en información.

Con este modelo también comprobamos cuantos servidores maximizan la ganancia de la salida. Como se observa en la Fig. 7, con varios servidores podemos conseguir grandes mejoras, pero con demasiados, la sobrecarga de información disminuye el rendimiento. Las diferentes líneas representan diferentes tamaños de los PoA. Con esto deducimos que el mayor rendimiento se consigue cuando el tamaño del lado es igual al diámetro de cobertura del PoA.

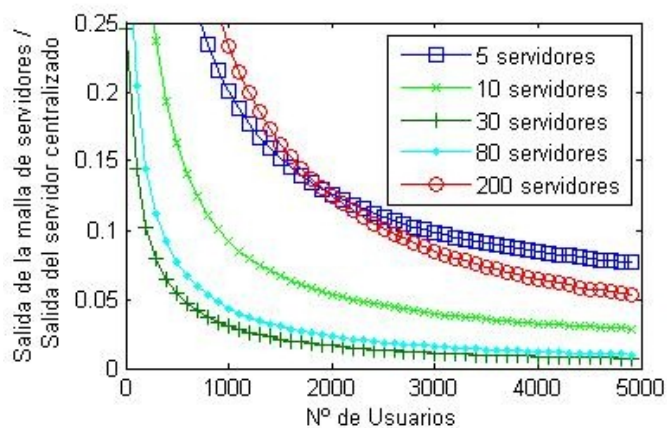


Fig. 6. Relación entre la salida de los servidores en la malla, y el centralizado, para diferente número de usuarios.

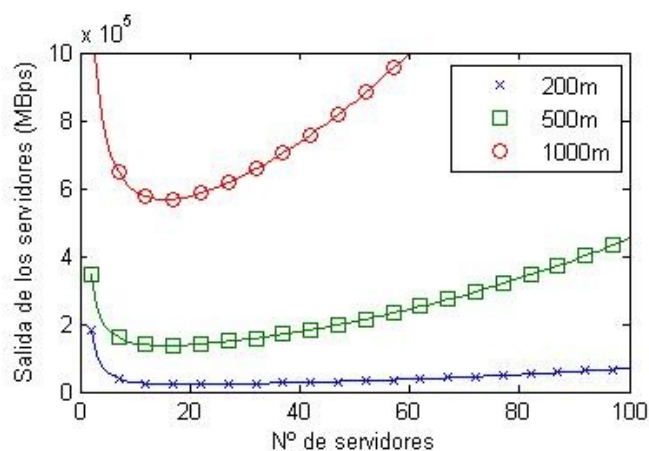


Fig. 7. Relación entre la salida de los servidores de la malla, respecto al número de servidores.

Por último, se ha modelado el RTT para este sistema, probando el RTT obtenido en la simulación. En este modelo se omite el salto entre el MN y el PoA, debido a que depende fuertemente de la tecnología. El resultado de este modelo se ve en la Fig. 8. En este caso cada línea representa los radios de diferentes PoA. Podemos ver que cuando la longitud del lado del servidor es mayor que el diámetro del PoA, no conseguimos mejores (en el peor caso) RTT, pero este será de 32 ms.

#### IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este artículo presenta una arquitectura distribuida en forma de malla para los servidores MIIS del 802.21, con información dinámica, para obtener un sistema más escalable, robusto y efectivo. Después de simular en el simulador NS-2, los resultados obtenidos muestran varias mejoras sobre el modelo clásico centralizado. La latencia de la transición, la calidad, y la sobrecarga del servidor muestran varias mejoras en este sistema. Usando la información dinámica para los diferentes PoAs, los MN no necesitan descubrir de manera activa el mejor PoA. Además, el MN tiene datos más precisos para

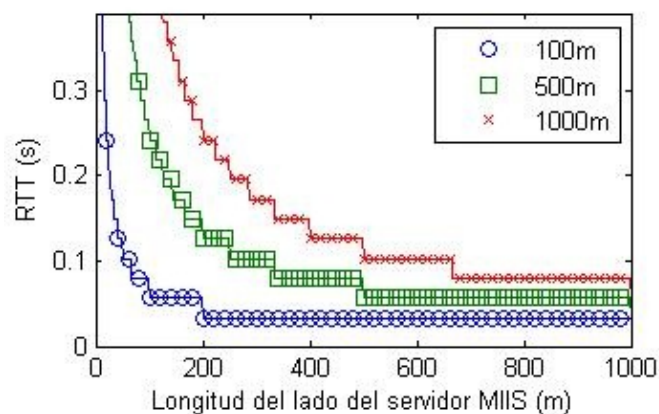


Fig. 8. RTT frente al tamaño del lado del servidor MIIS.

ejecutar la transición. Este sistema consigue además mejoras sobre los modelos distribuidos. Al no necesitar los diferentes niveles del modelo jerárquico, el número de saltos se reduce, y es más estable. La escalabilidad y la sobrecarga de información son mucho mejores que en un sistema centralizado. Para terminar, las desventajas de este modelo, son fácilmente mitigables, ajustando las diferentes periodicidades de los mensajes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación que les brinda el Subprograma AVANZA COMPETITIVIDAD I+D+I del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) a través del Proyecto TSI-020100-2011-165. Asimismo, los autores agradecen la financiación que les brinda el Programa de Cooperación Interuniversitaria de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Programa PCI-AECID, a través de la Acción Integrada MAEC-AECID MEDITERRÁNEO A1/037528/11.

#### REFERENCES

- [1] IEEE 802.21 WG, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 21: Media Independent Handover Services", *IEEE Std 802.21-2008*, January 2009.
- [2] A. De La Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia, A. Vidal, "An overview of IEEE 802.21: media-independent handover services", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, No. 4, pp. 96-103, Aug. 2008.
- [3] G. Lampropoulos, A. K. Salkintzis, N. Passas, "Media-independent handover for seamless service provision in heterogeneous networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 46, No. 1, pp. 64-71, January 2008.
- [4] A. Pontes, D. dos Passos Silva, J. Jailton, O. Rodrigues, K. L. Dias, "Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, No. 5, pp. 86-95, October 2008.
- [5] F. Buiati, L. J. García Villalba, D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, R. L. Aguiar, "Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization", *IEEE Communications Letters*, Vol. 14, No. 11, pp. 1020-1022, November 2010.
- [6] K. De Vogeleer, C. Ickin, D. Erman, "A decentralized Information Service for IEEE 802.21 - Media Independent Handover (MIH)", *IEEE Groups*, 2011.
- [7] P. Neves, J. Soares, S. Sargento, H. Pires, F. Pontes, "Context-aware media independent information server for optimized seamless handover procedures", *Computer Networks*, Vol. 55 No. 7, pp. 1498-1519, 2011.
- [8] Y. Kim, S. Pack, C. Kang, S. Park, "An enhanced information server for seamless vertical handover in IEEE 802.21 MIH networks", *Computer Networks*, Vol. 55, No. 1, pp. 147-158, 2011.

# Intelligent Wi-Fi discovery scheme based on IEEE 802.21 decentralized information service

Fábio Buiati<sup>1</sup>, Luis Javier García Villalba<sup>1,\*</sup>, Delfín Rupérez Cañas<sup>1</sup> and Tai-hoon Kim<sup>2,3</sup>

*1 Grupo de Análisis, Seguridad y Sistemas (GASS)*

*Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (DISIA)*

*Facultad de Informática, Despacho 431, Universidad Complutense de Madrid (UCM)*

*Calle Profesor José García Santesmases s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain*

*E-mail: {fabio, javiergv, delfinrc}@fdi.ucm.es*

*2 Department of Multimedia Engineering, Hannam University*

*133 Ojeong-dong, Daedeok-gu, Daejeon, Korea*

*E-mail: taihoonn@hannam.ac.kr*

*3 Department of Information Technologies, Global Vision School Australia (GVSA)*

*20 Virgina Court, Sandy Bay, Tasmania, Australia*

*E-mail: taihoonn@gvsa.asia*

## Abstract

*The integration of different wireless technologies such as Wi-Fi, Wi-Max and 3GPP networks offers the mobile node the opportunity to move between different networks, aiming to make a handover in a seamless manner. One important issue in heterogeneous environments is to provide the MN with enough network information, so that the handover decision can be optimized. The network information discovery phase is highly critical, especially discovering Wi-Fi networks, since scanning multiple channels is very expensive or consuming both in terms of time and battery-level. In this paper, we propose an intelligent Wi-Fi network discovery scheme using the IEEE 802.21 Media Independent Information Service (MIIS). In the proposed scheme, the MN obtains channel information from neighbour networks from a MIIS server and performs a selective scanning. The main advantage of our idea is that the Wi-Fi networks are managed by different MIIS servers, in a decentralized way. The simulation results show that the proposed scheme can refine the traditional Wi-Fi scanning scheme.*

**Keywords:** Mobility, IEEE 802.21, Scanning, Heterogeneous Networks, Decentralized, MIIS server.

## 1. INTRODUCTION

The convergence of different but complementary wireless networks offers the mobile node (MN) the opportunity to choose the network under an Always Best Connected scheme (ABC) [1]. In this heterogeneous environment the MN can move between different administrative domains, aiming to make handovers in a seamless manner. In general, the handover

process is divided into three main phases [2]: handover initiation, handover decision and handover execution.

In the handover initiation phase, also denoted network discovery phase, the most important requirement is to provide the MN with sufficient information about neighbour networks to make an accurate handover decision. In the second phase, the MN should choose a network based on several parameters such as Quality of Service (QoS), received signal strength, access point geographical location, security mechanisms and so on. Finally, in the handover execution phase the connection is routed to the new access point in a seamless way. In literature [3]-[5], the handover initiation is the most time-consuming phase in the handover process, being a highly critical phase.

Usually, the MN listens to the wireless medium to check if there is a Wi-Fi network within range. This process of listening is denoted scanning. The problem is that scanning all the channels (13 in Europe, 11 in North America and 14 in Japan) is very time and battery-level consuming. In a Wi-Fi network deployment, several channels are expected to be empty, to reduce the interference between adjacent Access Points (APs). Skipping empty channels can reduce the Wi-Fi APs discovery delay. So, the scanning delay can be reduced by simple refining the scanning procedure to a limited set of channels, denoted selective scanning.

We propose the use of the IEEE 802.21 MIIS server [6] to improve the Wi-Fi channel scanning procedure. The main goal of MIIS usage is to allow the MN to acquire a global view of all heterogeneous networks information within a geographical area.

Several works have been published to reduce the scanning delays using the MIIS server [7-10]. In [7] and [8] the authors proposed a Wi-Fi discovery scheme by exploiting information about the channel and location of the networks. The work [9] suggests an enhanced MIIS server in which channel conditions are estimated using spatial and temporal locality, with the



objective of minimizing the channel scanning delays. Finally, in [10] a decision algorithm of target network and fast L2 handover scheme using the location information of MN is proposed.

However, in these previous works, one common assumption is that the MN and APs have a Global Positioning System (GPS) device or another location service equipment in order to communicate with the MIIS server and obtain channel-related information. Moreover, current literature considers the existence of only one MIIS server in the network that responds with neighbourhood information. However, the number of network entities and supported communication technologies directly impact the amount of MIIS information sent from the network to the MN, causing delay in the handover performance. Our overall idea differs from the existing works in that the MN without any location service equipment can obtain channel information from the MIIS server in a geographical area, taking the advantage of using a decentralized MIIS architecture.

The proposed solution considers the splitting of the network coverage in different administrative areas, managed by different MIIS servers, distributed over the operator's core network. Using such a technique, the MN receives detailed channel information only related to its general neighbourhood, even without any geographical position information. Upon receiving the information from the MIIS server, the MN performs an intelligent selective scanning.

The rest of this article is organized as follows. Initially, we briefly present the main network information discovery techniques by which the MN can discover a service or a network. After that, in Section 3, the main entities and services of the emerging IEEE 802.21 standard are showed focusing on the MIIS domain. Section 4 presents the proposed scanning scheme using a decentralized MIIS server architecture. Then, a performance evaluation is described in Section 5. Finally, we conclude this work with some final considerations.

## 2. NEIGHBOR NETWORK DISCOVERY SCHEMES

Essentially, there are three basic alternatives to discover neighbour networks: (1) the MN is provided with manually static information about geographical networks by means of a configuration file; (2) the MN listens to network "service advertisements" (e.g., 802.11 beacon frames and DCD 802.16 frames) to find out the accessible network services which are offered and (3) the MN can consult a network information entity, which can store information from several networks and operators. In this section, we describe the main neighbour network information discovery techniques.

### Statically Preconfigured Information

The MN is provided with manually preconfigured static information about geographical networks by means of a configuration file. One advantage of using such a technique is that no messages are exchanged, therefore no traffic is

generated to the network, and hence overhead is reduced. On the other hand the method clearly presents no benefits and is not scalable. By using such an approach, there is the risk that the MN will not ever have updated network information.

### Network Service Advertisement

Some technologies such as Wi-Fi and Wi-Max wireless networks already have an existing means of detecting a list of neighborhood networks within the vicinity. Typically, the MN turns on its wireless interface and can listen to network "service advertisements" messages (e.g., 802.11 beacon frames, IEEE 802.16 DCD) and attempt to connect to PoA. Usually, a service advertisement message contains just enough information which is necessary for a client station to learn about the parameters of the PoA before joining to the network.

The benefit of using this network discovery technique is that the network information comes within the periodic broadcast message saving the MN the task of consulting any entity of the network. Conversely, scanning multiple channels on different technologies is very expensive or consuming both in terms of time and battery-level. In addition, the MN must be a network in range to receive the advertisements messages and the operator must be willing to distribute network information.

### Accessing a MIIS Server

In the last network information discovery technique, the MN can ask a MIIS server, which stores information from several access networks and operators. The main advantage of using such a technique is that the MN may have a complete and consistent view of the whole network. In addition, this approach allows MN mobility over several networks and operators. In this work, we will use this approach to demonstrate the benefits of using MIIS server technique in a heterogeneous mobile network environment.

## 3. IEEE 802.21 STANDARD

The IEEE 802.21 standard [6] specifies a Media Independent Handover (MIH) framework that facilitates handover in heterogeneous access networks by exchanging information and defining commands and event triggers to assist in the handover decision making process. Specifically the standard consists of a framework that enables service continuity while a MN transitions between heterogeneous link-layer technologies. Also, it defines a new logical entity created therein called the media independent handover function (MIHF).

The MIHF is the central entity of the emerging IEEE 802.21 standard, as illustrated in Fig.1. Its primary roles are to facilitate handovers and provide intelligence to the network selector entity.

The MIHF also provides three primary services: event services, command services and information services. These services help the MIH users maintain service continuity, quality of service monitoring, battery life conservation, and network discovery and link selection. A detailed explanation of each mobility service follows.

The Media Independent Event Service (MIES) is responsible for detecting events at lower layers and reporting them from both local and remote interfaces to the upper layers (the MIH users). A transport protocol is needed for supporting remote events. These events may indicate changes in state and transmission behavior of the physical, data link and logical link layers, or predict state changes of these layers.

The Media Independent Command Service (MICS) refers to the commands sent from MIH users to the lower (physical, data link, and logical link) layers in order to control it. The commands generally carry the upper layer decisions to the lower layers on the local device entity or at the remote entity. These commands are mandatory in nature and the recipient of a command is always expected to execute it. MIH users may utilize command services to determine the status of links and/or control the multi-mode device for optimal performance. The MICS provides dynamic information such as signal strength and link speed, varying with time and MN mobility. The standard defines a number of commands to allow the MIH users to configure, control and retrieve information from the lower layers including MAC, radio resource management and physical layer.

The Media Independent Information Service (MIIS) provides a framework and corresponding mechanisms by means of which a MIHF entity may discover and obtain network information existing within a geographical area to facilitate the handovers. After obtaining the neighbour information, the MN builds a candidate network list and decides the number of candidate PoAs (or channels) to be scanned. The scanning is required when there is one or multiple candidate PoAs, and the MN needs to check the connectivity (or resource availability) to the PoAs after obtaining the neighbor information.

MIIS includes support for various information elements which provide information that is essential for a network selector to make intelligent handover decisions. The information may be present in some MIIS server where the MIHF in the MN may access it.

Moreover, the MIIS provides capability for obtaining information about lower layers such as neighbour maps and other link layer parameters, as well as information about available higher layer services such as internet connectivity. For instance, knowledge of whether security, supported channels, cost per use, networks categories (such as public, enterprise, home) and QoS supported may influence the decision to select such an access network during handover process.

The MIIS also allows this collective information to be accessed from any single network. Information about a nearby Wi-Fi hotspot could be obtained using a Wi-Max interface or any cellular network, whether by means of request/response signaling without the need to power up the Wi-Fi interface. This capability allows the MN to use its currently active access network and inquire about other available access networks in a geographical region.

The information supplied by the MIIS is provided in Information Elements (IE) which can relate to higher layer

services such as availability of IP mobility schemes to a certain operator, or to lower layer such as link neighbor maps and link configuration parameters. More concretely, information available via the MIIS can be categorized as:

- General and access network information: give a general overview of the different available networks. These IEs are related to network type, operator, roaming agreements, cost per use or per traffic and security characteristics, QoS, data rate and type of mobility management protocol supported.
- Point of attachment (PoA) specific information: provides information about different PoAs for each available technology and operator. It covers information such as MAC address of the PoA, IP configuration methods, channel range and geographical location.
- Vendor/network information: the standard can support other information such as access network specific, vendor/network proprietary services, etc.

In this way, when a handover is triggered, the MN may obtain network information sending a MIH Get Information request message to the MIIS server. Once the MIIS server receives the MN's query, it generates an appropriate MIH Get Information response message containing the necessary information to the MN.

Detailed information about the IEEE 802.21 standard, its services and characteristics can be found in [11-15].

#### **4. INTELLIGENT WI-FI SCANNING SCHEME USING A DECENTRALIZED MIIS**

Before proposing the intelligent Wi-Fi scanning method using a decentralized MIIS architecture, we describe the traditional Wi-Fi scanning scheme. There are currently two kinds of channel scanning methods in IEEE 802.11 standard: passive and active. In the passive scanning mode the MN listens to the wireless medium for beacon frames. Current APs have a default beacon interval of 100ms [5]. During passive scanning, the MN listens to each channel of the physical medium one by one, in an attempt to locate potential APs using the probed channel. In this way, the full passive scanning is expressed by (number of channels x beacon interval (100ms)). Therefore, scanning 11 channels might take 1.1s.

Active scanning performs as follows. When handover is needed, the MN broadcasts a probe request packet on a possible channel and waits for a probe response. If it cannot receive any probe response after MinChannelTime, it will start to probe for the next channel in lists. If it receives a probe response in MinChannelTime, it will wait for a MaxChannelTime to collect for possible probe responses. Therefore, the active scanning time is variable, but might take up to 0.3s.

In order to reduce the Wi-Fi scanning delay, we specify a new intelligent selective Wi-Fi scanning using a decentralized MIIS architecture as illustrated in Fig. 2. The architecture is composed by three important entities: the IEEE 802.21-enabled MN; regional mobility areas (RMAs) consisting of several Wi-

Fi APs; and regional MIIS servers (RMIISs) that manage each one of the RMA. The RMIIS are distributed over the Operator's Core Network.

The communication between neighbours RMIIS servers is performed by an Inter-MIIS protocol, designed to carry important network information between different RMAs. Towards this goal, we use the primitive (MIH Get Information request indication), part of the IEEE 802.21, to transport information between neighbor RMIIS servers

The deployment of this decentralized MIIS architecture has two major benefits. The first one is that the MN receives information only related to its general neighborhood environment, diminishing the MIIS information response in size. The second advantage is that since the RMIIS servers are distributed over the operator's core, the MN does not need to contact a centralized MIIS server, diminishing the response time.

Detailed procedures of the Intelligent Wi-Fi Scanning are as follows:

1) In the bootstrapping, the MN connects to an available network and receives channel-related information about APs in the same RMA from the RMIIS.

2) In the movement from one network coverage to another, the MN receives a link detected trigger (since in Wi-Fi networks the MN monitors signal quality of associated Wi-Fi APs). Upon detecting a new AP, it looks inside the RMA information.

3) If the detected AP belongs to the same RMA, no additional channel scanning (to check the connectivity or resource availability) is necessary, because the MN stores enough channel information from the RMA, previously provided by the RMIIS server in the bootstrapping phase.

4) Belonging to a different RMA (MN is crossing two different RMAs), the MN sends a MIH Get information request message (MIIS query trigger) to the RMIIS server including the detected AP identifier. The RMIIS server is able to contact the target RMIIS server (Inter-MIIS communication) that holds information from the detected AP. To do it, the source RMIIS sends a MIH Get information indication message. Upon receiving the request message, the target RMIIS server replies with MIH Get Information response message containing a list of channels currently used by nearby APs within the new RMA (where the MN is moving to). After receiving the response from the RMIIS server, the MN constructs a list of valid used channels.

5) If a handover is triggered (e.g. link going down), a selective scan in the channels provided in (1) or in (4) is performed.

## 5. PERFORMANCE EVALUATION

This section presents the performance evaluation of the proposed intelligent Wi-Fi scanning scheme. We have extended the NS-2[16] network simulator adding the MIIS functionality.

Table 1 shows the network parameters considered for the simulation. The scenario (similar to the Fig. 1) is composed of a variable number of RMAs and RMIIS servers (1 to 9), with a variable number of Wi-Fi APs (1 and 5) per RMA. The used channel numbers are 1, 6 and 11. We have chosen these channels, because usually in Wi-Fi networks deployment, several channels are expected to be empty, to reduce the interference between adjacent APs. Finally, a MN is moving using the random waypoint mobility model (RWP) with a 2m/s of speed and with a 2s of pause time. We compare three different scanning strategies (shown in Fig. 3):

1) **Full Passive Scanning (FPS)**: expressed by (number of channels x beacon interval (around 100ms)). Therefore, scanning 11 channels might take 1.1s. The FPS is performed each time a handover is triggered (e.g. link going down).

2) **Full Active Scanning (FAS)**: the MN broadcasts probe requests messages and waits for at least a MinChannelTime (set as 17ms). If any response arrives, the MN waits for a MaxChannelTime (set as 30ms). This is done for each Wi-Fi channel. The MN needs 330ms to perform this scanning method.

3) **Intelligent Wi-Fi Scanning (IWS)**: the MN requests information from the RMIIS server and scans only the used channels by the neighbours APs in the RMA. We also take in account the delay to get information from the RMIIS server, which is the time from the instant the MN sends the MIH Get information request message, up to the time where the MN receives the MIH Get information response message from the RMIIS server. In the simulated scenario, illustrated in Fig.2, the delay is approximately 24ms.

From Fig. 3, it can be seen that the FPS is the worst scanning scheme of the existing scanning approaches. The MN lasts more than 45 seconds to discover all the Wi-Fi networks when it crosses 9 RMAs and there are 5 PoAs per RMA. With regards to the same characteristics, the scanning delay is about 10 seconds if the MN uses the FAS scanning method to discover neighbour Wi-Fi networks. Using our proposed scheme (IWS), the delay is reduced to approximately 2.35 seconds. So, as the number of crossed RMAs and existing PoAs per RMA increase, the performance of the FPS degrades. Also, the simulation results show that the bigger the network is (in number of RMAs and PoAs per RMA); better results are presented by the IWS scheme.

## 6. CONCLUSION

In this article we have presented an intelligent Wi-Fi scanning method using a decentralized IEEE 802.21 MIIS architecture. In the proposed scheme, we split the Wi-Fi access networks into different mobility areas, managed by different MIIS servers, in which the MN obtains channel information from neighbour networks from a specific MIIS server and performs a selective scanning. The simulation results show that the MN experiences

less delay to discover and scan Wi-Fi neighbour networks when compared with the traditional Wi-Fi scanning schemes.

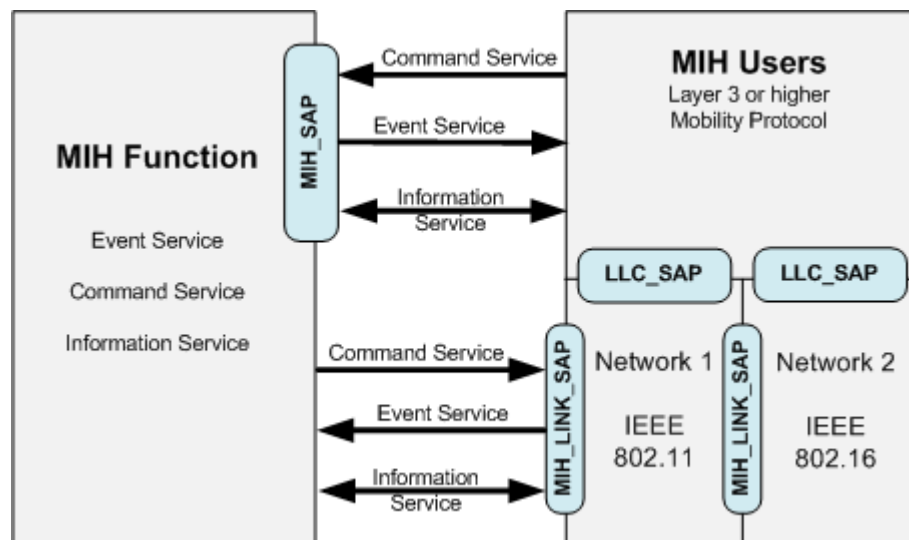
## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, Spain) through the Projects Avanza Competitividad I+D+I TSI-020100-2011-165 and TSI-020100-2010-482 and the Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, Spain) through the Project TEC2010-18894/TCM. This work was also supported by the Security Engineering Research Center, granted by the Ministry of Knowledge Economy (MKE, Korea).

## REFERENCES

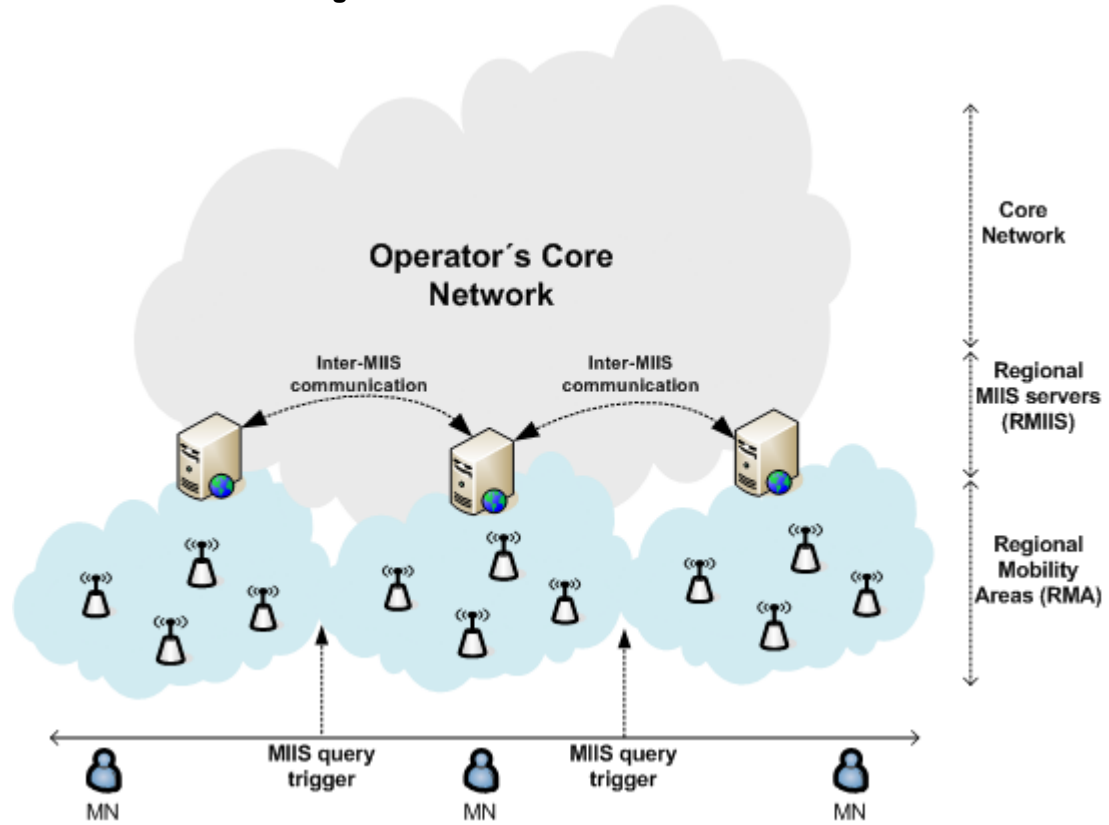
1. E. Gustafsson and A. Johnson, IEEE Wireless Communications, (2003),
2. J. Manner and M. Kojo, RFC 3753, June (2004).
3. S. Yoo, D. Cypher and N. Golmie, Proceedings of the Springer Wireless Personal Communications (2008).
4. J. Floroiu, M. Corici, Byoung-Joon Lee, S. Lee, S. Arbanowski, and T. Magedanz, 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, July (2007).
5. D. Murray, M. Dixon and T. Koziniec, International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST'07), IEEE Computer Society, March (2007).
6. IEEE 802.21 Standard, "Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services", January (2009).
7. W. S. Lim, D. W. Kim, Y. J. Suh and J. J. Won, Computer Communications, January (2009).
8. Wan-Seon Lim, Dong-Wook Kim, Young-Joo Suh, and Jeong-Jae Won, Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), November (2008).
9. Y. Kim, S. Pack, C.G. Kang and S. Park, Computer Networks, (2011).
10. K. Byung-Kil, J. Young-Chul, I. Kim and K. Young-Tak, IEEE NOMS Workshops 2008, April (2008).
11. A. de la Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia and A. Vidal, IEEE Wireless Communications, August (2008).
12. F. Buiati, L. J. García Villalba, D. Corujo, S. Sargento and Rui L. Aguiar, IET Communications, December (2011).
13. F. Iqbal and M. Younus Javed, International Journal of Future Generation Communication and Networking, (2011).
14. N. P. Singh and B. Singh, International Journal of Future Generation Communication and Networking, (2011).
15. S. Busanelli, M. Martalo, G. Ferrari and G. Spigoni, International Journal of Energy, Information and Communications (2011).
16. NIST Mobility Package for Network Simulator-2, May (2007).

Fig. 1. IEEE 802.21 architecture model.



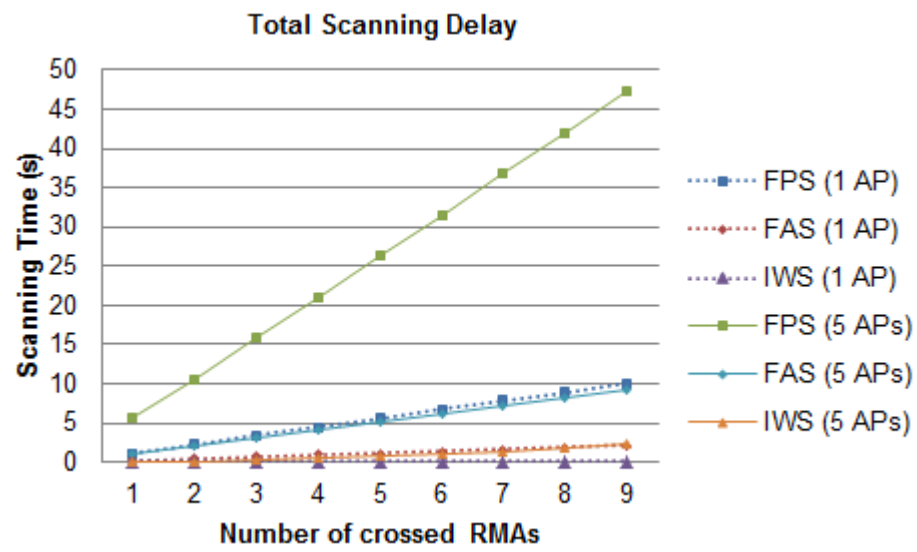
Fabio Buiati, Intelligent Wi-Fi discovery scheme based on IEEE 802.21 decentralized information service, Fig. 1.

**Fig. 2. A decentralized MIIS architecture**



Fabio Buiati, Intelligent Wi-Fi discovery scheme based on IEEE 802.21 decentralized information service, Fig. 2

**Fig. 3. Total scanning delay comparison.**



Fabio Buiati, Intelligent Wi-Fi discovery scheme based on IEEE 802.21 decentralized information service,  
Fig. 3

**Table 1 – Simulation network parameters**

Parameter	Values
Number of RMAs	1-9
Number of RMISs	1-9
Number of Aps	1, 5 per RMA
Wi-Fi used channels	1, 6, 11
Wi-Fi transmission range	100m
MN	1
Mobility model	RWP
MN speed	2 m/s
Pause time	5 s
Simulation time	1 hour





## Parte III

# Appendix: Summary of the Research



---

# Design and Implementation of a Mobility Information System for Heterogeneous Networks

---



Thesis by

**Fábio Mesquita Buiati**

In Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Doctor of Philosophy

*Advisor*

**Luis Javier García Villalba**

Department of Software Engineering and Artificial Intelligence  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid

Madrid, June 2012



## Abstract

The current boom in wireless communications (Wi-Fi, Wi-Max and 3G) along with the development of powerful mobile devices has enabled users to connect to the internet on their mobiles almost anywhere and anytime. In the future mobile Internet, there will be hundreds or thousands of networks belonging to different operators, and therefore the user will have the option to move and connect to different access networks. The delay when switching networks is an important issue in the mobility of users. There are several metrics and variables that affect the handover delay between two networks, where the most notable is the time taken to discover neighboring networks.

Usually the mobile user performs a scanning in its active network interface. Of the networks found, the network showing the best reception signal is chosen as the destination network. This procedure is not advisable due to the high energy involved in each performed scan. Moreover, conducting a scan in each available network interface involves an excessive overhead in the mobile device.

In the next generation networks the mobile user can use a server that stores information from their neighboring networks in order to reduce the overhead and the network discovery process. At the recent IEEE 802.21 (MIH - Media Independent Handover) standard, a network server is specified known as Information Server that stores network information existing within a geographical area. Information such as the list of access points in a particular area of the city, the location of mobile nodes, cost, available bandwidth, type of technology and the availability of higher layer services (quality of service; cost of use, safety) can be stored on this server. Using this technique the user can receive a list of neighboring networks to its geographical position upon connecting to a network, thus saving the task of scanning networks in search of a possible handover. However, the automation, representation and distribution of the network information are a big challenge, especially in multi-operator environments.

This thesis addresses a general approach towards the deployment of a Hierarchical 802.21 Information Service management infrastructure for heterogeneous mobile environments. The proposed scheme establishes the foundation for building large-scale, multi-domain information network discovery system capable of facilitating handover in heterogeneous environments. To achieve it, we consider that the network information is divided in different heterogeneous mobility areas, managed by different levels of information servers in a hierarchical manner.

In addition, there is a detailed analysis of our proposal, introducing a set of simulations developed to verify the impact of the proposed mechanism for mobility across heterogeneous networks. With the use of network simulation tool Network Simulator (NS-2), we can determine the applicability of our work on next generation networks. The results show that the proposed mobility information system architecture significantly improves the mobile user experience by reducing the time of neighboring networks discovery and considerably improving the quality of handovers. Also, since the network information is managed by multiple information servers, the system yields greater resilience, redundancy, robustness and scalability.

Key words: IEEE 802.21, information server, MIIS, heterogeneous networks, mobility, NS-2, MIH.



## Chapter 8

# Introduction

The integration of different wireless access technologies such as Wi-Fi, Wi-Max and LTE networks increases the availability of Internet access to mobile users anytime, anywhere, under an Always Best Connected [GJ03] scheme. To take advantage of this, operators and vendors are coupling their mobile node (MN) devices with different radio interfaces, allowing a connection to different networks and enabling new mobility scenarios. The process by which a MN changes its Point of Attachment (PoA) between access networks is denoted handover.

In this heterogeneous wireless environment, seamless handover is very important in minimizing aspects such as data lost, low control overhead and duration of transfer delay. In the literature [JM04], seamless handover is a type of handover in which service continuity and disruption time must be minimal. The handover can occur either between PoAs that use the same wireless technology (horizontal handover) or among two different PoAs belonging to different link layers technology (vertical handover).

To facilitate the handovers between different technologies in heterogeneous environments, the IEEE 802.21 standard [IEE09] specifies a Media Independent Handover (MIH) framework that defines commands and event triggers assisting in the handover decision making process. The IEEE 802.21 standard aims to optimize the handover process by supplying heterogeneous information to a mobility management entity (MME) regarding potential handover targets. The MME can then use this information about the network environment, application requirements and network policies, to generate possible handover opportunities.

In general, the handover process is divided into three main phases [JM04] [LSP08]: handover initiation, handover preparation and handover execution. The handover initiation phase involves the configuration of wireless devices to generate appropriate triggers towards the network and inform it of important changes in the link quality. In the second phase (also denoted neighbor network discovery phase), the most important requirement is to provide the MN with sufficient information about neighbor networks to make an accurate handover decision. Upon receiving network information, the user should choose a network based on several parameters such as Quality of Service (QoS), received signal strength, access point geographical location, security mechanisms and so on. Finally, in the handover execution phase the connection is routed to the new access point in a seamless way. In the literature [FCL<sup>+</sup>07] [YCG10], the neighbor network discovery is the most time-consuming phase in the handover process. Figure 8.1 summarizes the three handover phases.

In order to improve the network discovery phase, the IEEE 802.21 standard specifies a Media Independent Information Service (MIIS) that supports various Information Ele-



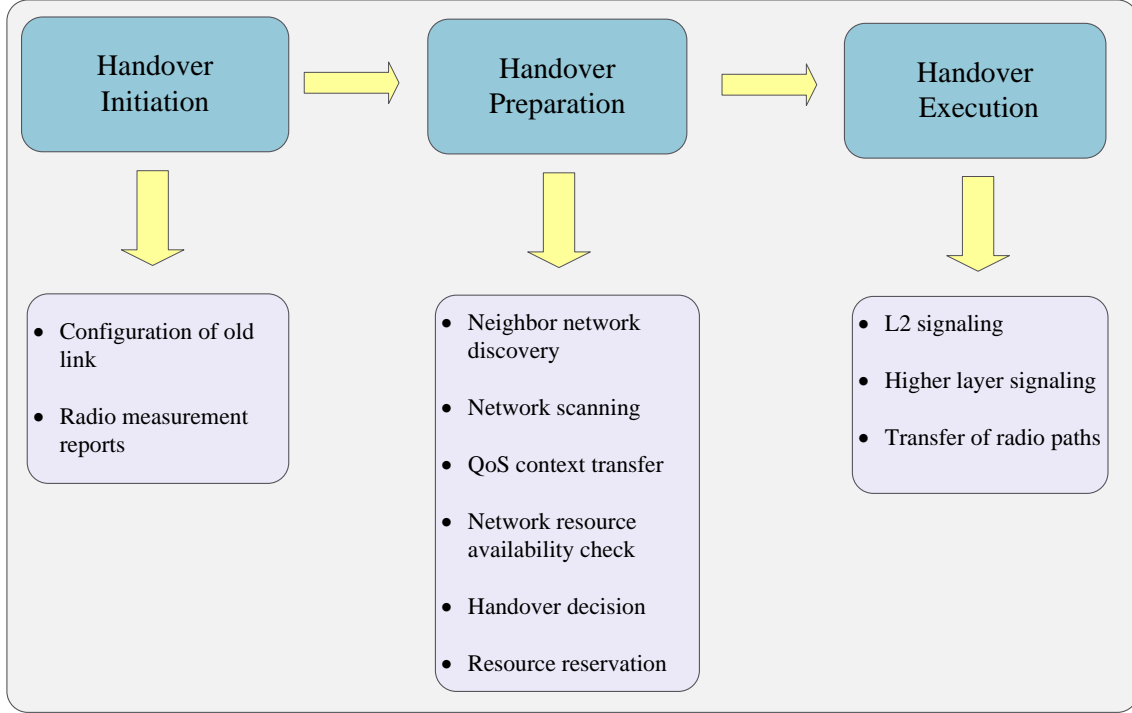


Figure 8.1: Handover phases

ments (IE), providing network information within a geographical area. The main goal of using the MIIS is to allow the MN to acquire a global view of all heterogeneous networks information in the area before connectivity loss is experienced, improving the handover decision and the perceived Quality of Experience (QoE). The information provided by the MIIS server is also known as mobility information or mobility service and the set or group of MIIS servers we call **Mobility Information System** [BSRCGV11]

This chapter aims to present the scope of the thesis. Section 8.1 presents the main motivations surrounding this piece of work. In section 8.2, we provide a detailed analysis of the related work focusing on the IEEE 802.21 MIIS service. Then, section 8.3 presents our main contributions, and section 8.4 shows the organization of the thesis.

## 8.1 Motivation

In traditional (horizontal) handovers such as between cellular networks, the handover decision is based mainly on relative signal strength (RSS) information in the border region of two cells, as an indicator for service availability from a PoA. However, traditional RSS comparisons are not sufficient to make a vertical handover decision, as they do not take into account the various attachment options for the MN. This is because in heterogeneous network environments more parameters and information are needed to make an accurate vertical handover decision. Besides RSS handover decision criteria, several other parameters such as current network utilization, expected throughput, cost per use, QoS supported, PoA geographical position and security are important. Figure 8.2 shows the new metrics and parameters that are considered for a vertical handover decision.

In such cases (horizontal and vertical handovers), the most important requirement is to

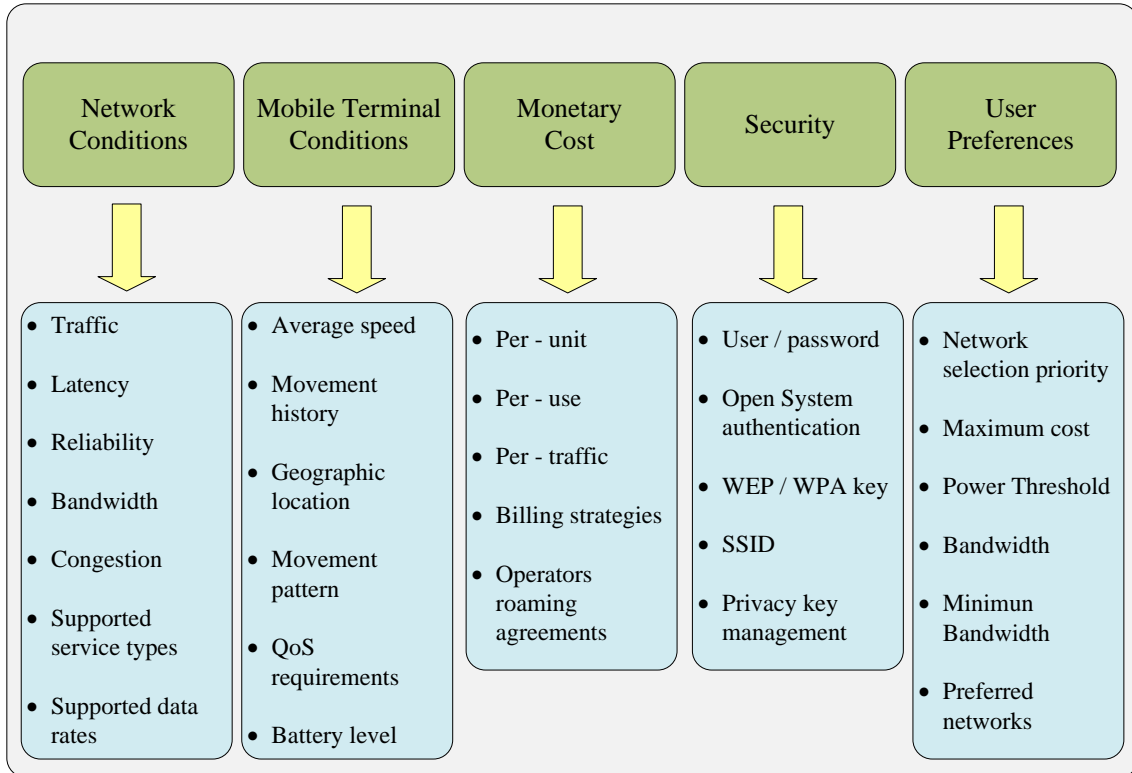


Figure 8.2: Metrics to be considered in heterogeneous handovers

provide the MN with sufficient information about neighbor networks to make an accurate handover decision. In this way, the network information discovery phase is highly critical. To accomplish it, MN must be able to discover what types of network connectivity are accessible to them.

Much of the information shown in Figure 8.2 can be obtained through listening to the advertisements frames generated by the PoAs, such as beacon frames in Wi-Fi networks and IEEE 802.16 DCD messages in Wi-Max networks. The information offered by these types of messages is quite restricted (e.g., operator name, access point technology, network name, country code, etc.). In new generation networks, users can have access to detailed information from the networks (e.g. available bandwidth, connection cost, number of simultaneous users, etc.). Thus, if the MN wishes to know more information from the networks, it may consult some entity in the network that has all or most of the information, which is the IEEE 802.21 MIIS information server.

The IEEE 802.21 framework, along with the MIIS service, has been applied to several mobility schemes (described in Section 8.2) in order to minimize the impact of network discovery process. However, looking at these works that employ models relying on the IEEE 802.21 MIIS; the facilities provided by the MIIS service are largely overlooked and only briefly mentioned. When the MIIS is presented in research work, it typically only covers the following aspects:

- The MIIS is an information server located "somewhere" in the operator's core network.
- The terminal, or a network entity, sends a MIH Get Information request message to

the MIIS server, when a new network is detected or the signal is attenuating, for a possible handover opportunity.

Moreover, the existing MIIS implementations usually consider a network-centric deployment, in which the MIIS server is located in a centralized entity of the operator network. Centralized MIIS solutions are prone to several problems and limitations, such as: sub-optimal routing paths, complex network deployment, scalability problems, longer associated handover latency and higher vulnerability due to the existence of a potential single point of failure. It is clear that this kind of mobility information dissemination architecture is limited, in respect to the support of large scale environments able to address multiple operators.

In this way, the representation of the MIIS role and usability is very lacking in terms of usage details, characteristics and specific information elements and procedures used. This factor is also verified in the standard [IEE09] where several important factors are deemed as out-of-scope or not detailed at all.

Considering this, this thesis addresses a general approach towards the deployment of a new IEEE 802.21 mobility information system architecture. To this end, we structure our design based on a set of evaluation criteria that we argue are critical to the construction of such MIIS mobility information system. A solution considering multiple access networks and operators has to contemplate a hierarchical splitting of the existing information, taking into consideration the amount and detail of specific points of attachment of a single access network and the combination of all this detail for a number of access networks and different operators. Considering this, and in order to improve the MIIS service, we apply this splitting to the MIIS mobility information system in which the network coverage is divided into heterogeneous mobility areas, managed by different levels of MIIS servers in a hierarchical manner.

The proposed MIIS architecture aims to reduce the neighbor network information discovery delay and improves the quality of handover between different technologies and networks in environments with different operators. Also, since the mobility information is managed by multiple MIIS servers in a hierarchical way, the system wields greater resilience, redundancy, robustness and scalability.

## 8.2 Related work

A number of mobility mechanisms in heterogeneous environments have been proposed that employ models relying on the IEEE 802.21 standard in which we briefly describe a few indicative proposals related to it.

[LSP08] propose the use of MIH services to meet the QoS requirements of applications for minimum disruption during vertical handovers. [PSJ<sup>+</sup>08] explore the MIH services addressing the integration of IEEE 802.11 WLANs and IEEE 802.16 WMANs, focusing mainly on the handover management aspects provided by the MIH framework. The authors in [LSN10] propose an enhanced handover functionality by integrating the Wi-Fi/Wi-Max networks where they consider issues as resource reservation and power management that are not covered by the IEEE 802.21 standard.

In [CV06] the handover process can be enhanced by incorporating mechanisms for service continuity, mobility policies, power saving, and adaptation support at the application layer. Issues that are addressed include the minimization of communication interruption during handover, the effect of user preferences, cost and security on handover decision, the use of smart techniques to activate interfaces only when required and so on. [TOF<sup>+</sup>09] discuss how the IEEE 802.21 standard framework and services are addressing the challenges

of seamless mobility for multi-interface devices. Then they discuss design considerations for a proof-of-concept IEEE 802.21 implementation and share practical insights into how this standard can optimize handover performance.

When considering the functionality of the MIIS service, we divide the related work into two major categories:

1. Proposals that use the information provided by the MIIS service in order to make a more accurate handover decision.
2. Proposals that work in a more detailed MIIS framework and architecture specifications.

Regarding the first category, in [BKS<sup>+</sup>08] a vertical handover scheme between UMTS and Wi-Max employing the IEEE 802.21 framework is proposed. They use the MIIS service in order to obtain relevant information from neighbourhood networks. [SC07] propose an interesting vertical handover solution for Wi-Max and 3GPP networks based on IEEE 802.21 services taking a network-based mobility management approach using Proxy Mobile IP. [NW06] use the IEEE 802.21 MIIS service to determine the conditions under which vertical handoff should be performed. The problem is formulated as a Markov decision process with the objective of maximizing the total expected reward per connection.

The proposed work by [LMKL09a] is to obtain network maps from the MIIS service, and provide this information to the elimination-based cost function to enable energy efficient handover. [CIRG09] explore the MIIS service to improve mobility performance for FMIPv6 by providing authentication information allowing the MN to authenticate with the target network while connected elsewhere on the network. They focus especially on information that aids the authentication process, providing MNs with authentication information that they would not normally have until they connect to a new PoA. [MYNF07] define a heterogeneous network information container for facilitating the storage and retrieval of the L2 and L3 static information of neighboring networks obtained through the IEEE 802.21 MIIS.

In [YCG10], the authors present a timely effective handover architecture based on the neighbor network information. In the proposed architecture, they estimate the exact required handover time based using the network information obtained by the MIIS server. [LKS09] make use of the MIIS service providing the MN with a valid channel list stored on the MIIS server. Upon receiving a response message, the MN performs a selective scanning procedure, reducing the network discovery time. In [FCL<sup>+</sup>07], the authors propose integrating the MIH architecture into an IP Multimedia Subsystem (IMS) in order to optimize the quality of end-to-end service. Their cross-technology architecture considers a MIIS infrastructure where MIIS servers exchange information such as QoS and cost related parameter.

[WCCH06] specifies a user profile based network selection algorithm with the assistance of the MIIS service that provides network information such as MAC address and channel information for network selection. [KA11] propose the use of the MIIS service in which the user acquires channel configuration information and then uses that information to scan a limited set of channels being used by the surrounding access points or throughout the network rather than scanning all possible channels resulting in reduced handover delay. [LMKL09b] investigate the use of a cost function to perform an optimal network selection using the information provided by the MIIS service, such as network coverage map or network properties. They show that significant energy efficient improvement can be achieved using the IEEE 802.21 standard.

Some authors have started to work in a more detailed MIIS framework and architecture specifications, the second related work category. [KO06b] take a more general approach towards network information services introducing the notion of "service maps", a mobile data management approach allowing a mobile user to obtain a detailed view of available networks and the services they offer depending on the user context such as geographic position, mobility paths, and application requirements. The authors in [KPKP11] and [NSS<sup>+</sup>11] introduce an enhanced information server in which the MN periodically reports dynamic information to the MIIS server. Their main contribution is that the MIIS server is able to store, manage and deliver real-time dynamic information, such as the user preferences, running services, mobile device characteristics and available network resources.

In [YYJP08] an enhanced media independent handover framework and mobility management mechanism is proposed. The MIIS service is used to collect link layer and application layer information from the networks. [GPH<sup>+</sup>07] and [PAG<sup>+</sup>07] introduce the Ambient Networks information service infrastructure which aims at gathering and correlating information from different layers of the protocol stack and across different domains enhancing both mobility management and context-aware communications in pervasive environments. Finally, in [VIE11] a decentralized MIIS approach is specified. The envisioned architecture is based on a hierarchical distributed hash table where the MIIS server is also maintained by the mobile users.

### 8.3 Main contributions

The main objective of the proposed mobility information system is to establish the foundation for building a large-scale, multi-domain mobility information management system capable of facilitating handovers in heterogeneous environments, by providing mobility-related information. The proposed mobility system is denoted Hierarchical MIIS (HMIIS). Summarizing, the following main advantages are obtained using the proposed HMIIS system:

- **Flexibility:** our framework is flexible enough to support different deployment scenarios.
- **Scalability:** it allows a better segmentation of the mobility information according to the deployment of each MIIS server.
- **Low latency:** minimizes the neighbor network discovery delay.
- **Single point of failure avoidance:** bottlenecks at a single MIIS server are mitigated in a distributed network providing higher throughput, while the transport paths are shortened.
- **Suited information:** the MN receives detailed information only related to its general neighborhood environment, even without any location service equipment, increasing handover optimization opportunities. This is an important matter since supplying too much information can produce heavy network usage, but insufficient information can result in sub-optimal handovers.
- **Signaling overhead:** information queries are distributed over several MIIS servers with the objective of reducing network costs, evolving to a cheaper and more efficient architecture.

- **Maximize the Quality of Experience (QoE):** QoE is a customer-focused subjective measure, rather than a network-oriented one. The HMIIS system tries to increase the level of QoE by maximizing the optimal number of performed handovers.

## 8.4 Outline of the thesis

This thesis is organized as follows:

Chapter 8, just presented, provides a global vision and an outline of the proposed thesis. It also discusses the main contributions of this work and provides a short overview of a selected related work regarding the IEEE 802.21 MIIS service.

Chapter 9 provides a more detailed description on the IEEE 802.21 standard, its services and main characteristics.

Chapter 10 presents the proposed scheme, a hierarchical mobility information system based on the IEEE 802.21 standard.

Chapter 11 shows the simulated scenarios and the discussions on the measured results obtained using our neighbor discovery scheme.

Chapter 12 summarizes the main conclusions derived from this work, as well as the improvements that could be done to the implementation in the future.



## Chapter 9

# IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH)

This chapter provides a more detailed description of the IEEE 802.21 standard. It is organized into five sections. First, we introduce the notion of the IEEE 802.21 standard. Then, we describe it summarizing the main characteristics in section 9.2. Section 9.3 presents a short overview of the IEEE 802.21 services. The section 9.4 presents a common mobility scenario that involves different wireless technologies. In the fifth and last section, a conclusion of the IEEE 802.21 standard is made.

### 9.1 Introduction

The IEEE 802.21 standard provides the means for enabling and optimizing handovers between heterogeneous technologies. These technologies encompass IEEE 802 networks such as IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (Wi-Fi) and IEEE 802.16 (Wi-Max) and cellular networks such as the ones specified by the Third Generation Partnership Project (3GPP). To facilitate handovers between these technologies, IEEE 802.21 proposes the addition of a Media Independent Handover Function (MIHF) to 802.21-enabled nodes. This abstracts the different link-layer technologies to upper layer entities, both at the network nodes and at the mobile terminals, allowing them to control and obtain information from lower layers using standardized Service Access Points (SAP). Figure 9.1 shows the general architecture of the IEEE 802.21 standard.

The communication between the MIHF and high-level entities (deemed MIH-Users) is achieved through the MIH-SAP which supplies a set of abstract primitives to access services pertaining to link-layer technologies. MIHF implementations translate these abstract primitives into link specific actions. In order to allow the MIHF to be designed independently of the link layer specifics, a generalized media independent interface common to all technologies is also defined in IEEE 802.21.

The standard also defines services that comprise the MIHF service; these services facilitate handovers between heterogeneous access links. The services provided by the MIHF are the event, command and the information services.

The Media Independent Event Service (MIES) provides classification, filtering and reporting of events pertaining to dynamic information concerning link status. Events are generated within link layers and sent towards the MIHF. The MIHF propagates these events towards interested MIH-users who previously registered to receive them. Events can be generally related to MAC and PHY state changes which motivate link event triggers, such as link handover or link transmission events. These events can be used to inform



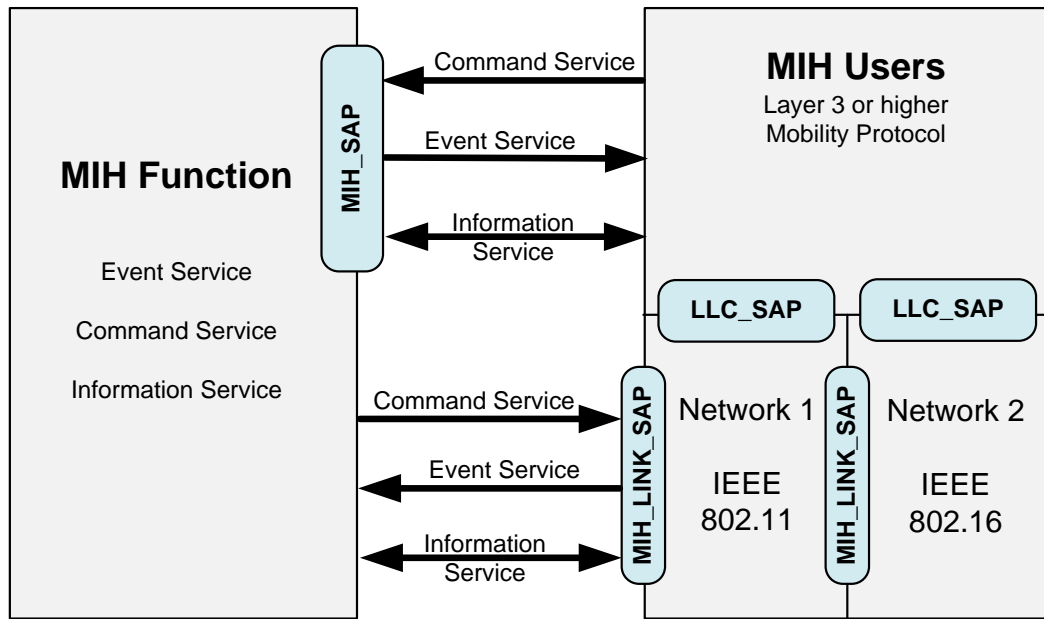


Figure 9.1: IEEE 802.21 general architecture

MIH-Users about radio conditions, which can trigger a quick handover to preserve connectivity, or switch to a technology which better suites running applications under dynamic conditions.

The Media Independent Command Service (MICS) supplies commands enabling MIH-Users to control, configure, manage and send actions to lower layers. Commands follow a top-down direction as opposed to events. There are two categories of commands in this service: MIH commands and link commands. MIH commands are generated by MIH Users and sent to the MIHF for processing regarding which target technology the command refers to. Link commands originate from the MIHF and are directed to the specific lower layers, allowing the control of their behavior. Examples of command usage can be: obtain link information status; query handover related information about possible candidate networks; and notifying the status of a handover's completion.

While the MIES and the MICS are services whose joint efforts allow handover algorithms to acquire information regarding network and terminal conditions, and to control link layers, the Media Independent Information Service (MIIS) provides a framework to offer and obtain information details on the characteristics and high-level services available in the serving and candidate networks within a geographical area.

## 9.2 Characteristics

Handover decision making involves cooperative use of both MN and network infrastructure. Handover control, handover policies, and other algorithms involved in handover decision making are generally handled by communication system elements that do not fall within the scope of the standard. However, it is beneficial to describe certain aspects of the overall handover procedure so that the role and purpose of the MIH services in the handover process are clear. The following items give an overview of how the different factors that affect handovers are addressed within the standard.

- **Service Continuity:** handovers may occur either between two different access networks or between two different points of attachment of a single access network. In such cases service continuity is defined as the continuation of the service during and after the handover while minimizing aspects such as data loss and break time during the handover without requiring any user intervention. The change of access network may or may not be noticeable to the end user, but there should be no need for the user to re-establish the service. There may be a change in service quality as a consequence of the transition between different networks due to the varying capabilities and characteristics of the access networks. For example if the QoS supported by new access network is unacceptable, higher layer entities may decide not to handover or may terminate the current session after the handover based on applicable policies. This specification specifies essential elements which enable service continuity.
- **Security:** events, commands and information messages carried between a MN and a network PoA cannot be secured until the MT is securely associated with the network PoA. This association can be achieved either via lower or higher layers security mechanisms. Once such a secure association has been established between the MT and the network PoA, any messages exchanged between two MIH Function entities should retain integrity and be replay protected over a secure transport. Otherwise the exchanged MIH messages are prone to integrity, replay and man-in-the-middle attacks. The 802.21 standard may specify the means for security information to be made available to the upper layers to setup secure connections.
- **Quality of service (QoS):** the QoS experienced by an application depends on the accuracy, speed, and availability of the information transfer in the communication channel. This standard provides support for fulfilling application QoS requirements during handover.
- **Network discovery:** the standard defines the information that helps in network discovery and specifies the means by which such information can be obtained and be made available to the MIH users. The network information includes information about link type, link identifier, link availability, link quality, etc.
- **Network selection:** network selection is the continuous process of selecting the most appropriate network for any user operation at any given time. The selection can be based on various criteria such as required QoS, cost, user preferences, policies, etc. If the selected network is not the currently used network, then a handover to the preferred network may be required. The 802.21 standard may specify the means for such information to be made available to the upper layers to enable effective network selection.
- **Handover policy:** the primary role of the MIHF is to facilitate handovers and provide intelligence to the network selector entity. The MIHF aids the network selector entity with the help of the event service, command service, and information service. The network selector entity and the handover policies that control handovers are outside the scope of the standard.
- **Power management:** the standard allows the MN to discover different types of wireless networks (e.g., IEEE 802.11, IEEE 802.16, and 3GPP networks), avoiding powering-up of multiple radios and/or excessive scanning at the radios. Thus, this standard minimizes power consumed by mobile devices in the discovery of potential handover candidates. Specific power management mechanisms deployed are

dependent on individual link layer technologies and the potential power management benefits from the standard only extend to the discovery of wireless networks.

### 9.3 MIH services

As stated before, the services provided by the MIHF are the event, command and the information services. The media independent event service (MIES) provides event classification, event filtering and event reporting corresponding to dynamic changes in link characteristics, link status and link quality. The media independent command service (MICS) enables MIH users to manage and control link behavior relevant to handovers and mobility. The media independent information service (MIIS) provides details on the characteristics and services provided by the serving and neighboring networks. The information enables effective system access and effective handover decisions. Figure 9.2 illustrates the IEEE 802.21 services defined in the standard.

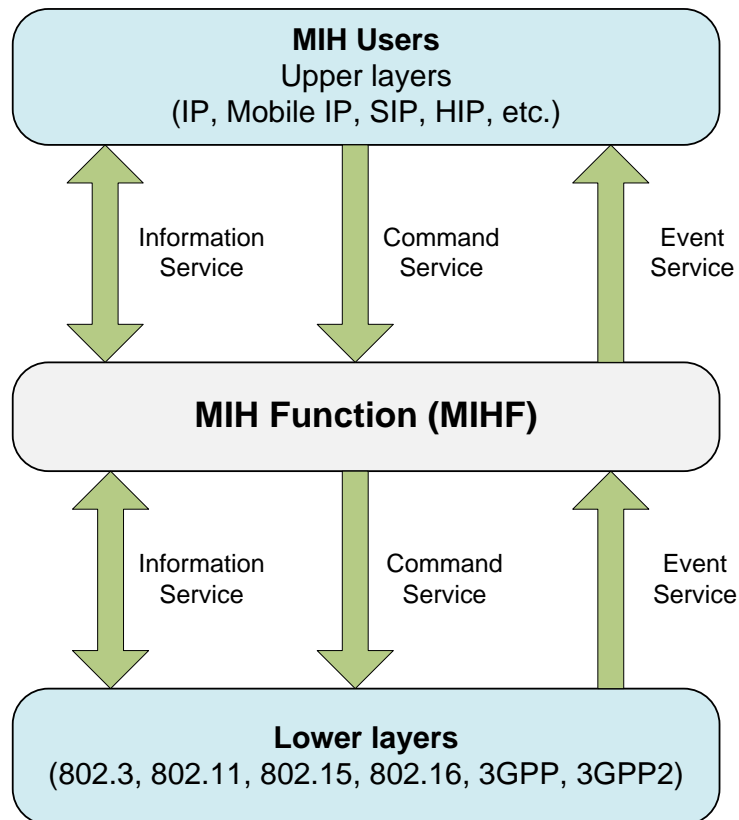


Figure 9.2: IEEE 802.21 MIH services

Although some insight is given for IEEE 802.21 services, the reader is referred to [dIOBS+08] and [IEE09] for more detailed information.

#### 9.3.1 Media independent event service (MIES)

The MIES provides classification, filtering and reporting of events pertaining to dynamic information concerning link status. Events are generated within link layers and sent towards the MIHF. The MIHF propagates these events towards interested MIH-users who

previously registered to receive them. Events can be generally related to MAC and PHY state changes which motivate link event triggers, such as link handover or link transmission events. These events can be used to inform MIH-Users about radio conditions, which can trigger a quick handover to preserve connectivity, or switch to a technology which better suites running applications under dynamic conditions.

### 9.3.2 Media independent command service (MICS)

The MICS supplies commands enabling MIH-Users to control, configure, manage and send actions to lower layers. Commands follow a top-down direction as opposed to events. There are two categories of commands in this service: MIH commands and link commands. MIH commands are generated by MIH-Users and sent to the MIHF for processing regarding which target technology the command refers to. Link commands originate from the MIHF and are directed to the specific lower layers, allowing their behavior to be controlled. Examples of command usage can be: obtain link information status; query handover related information about possible candidate networks; and notifying the status of a handover's completion.

### 9.3.3 Media independent information service (MIIS)

The information supplied by the MIIS is provided in Information Elements (IE) which can relate to higher layer services such as availability of IP mobility schemes at a certain operator, or to lower layer such as link neighbor maps and link configuration parameters. More concretely, information available via the MIIS can be categorized as:

- General and Access Network Specific Information: general overview of different networks, providing coverage within a specific area such as network type, operator and service identifier. Information including QoS, security, technology revision and cost is also available.
- Link connection point information: information about points of attachment for each access network available, comprising aspects such as MAC address of the access point, geographical location, channel configuration, and so on.
- Other information: network, service or vendor specific information.

The MIIS, as in the essence of the IEEE 802.21 framework, supplies information about different technology handover candidates. Moreover, information about different technologies surrounding the MN, other than the one it's attached to, can be accessed from any single technology. This enables the MN to avoid having to power up individual interfaces in order to obtain information about particular technologies for handover opportunities, allowing optimal power usage.

In case the terminal has active interfaces able to detect PoAs, it can directly obtain MIIS information prior to authenticate and attach to the network. This is achieved through the transport of MIIS signalling in L2 management frames (such as beaconing) between the MN and a MIHF at the detected PoA. This allows the handover policy function in the MN to obtain information about a PoA without having to actually connect and authenticate to it. To prevent obtaining sensitive information, the information set supplied to unauthenticated nodes has to be limited in scope and capabilities. Table 9.1 illustrates some of the IEs defined by the IEEE 802.21.

Figure 9.3 shows the different types of IE for a global scenario with several operators and access networks.

Table 9.1: Information Elements (IE)

Information Element	Description
General Information	
IE_Network_Type	Link types of the access networks available in a given geographical area
IE_Operator_Type	The operator identifier for the access network/core network
IE_Service_Provider_ID	Identifier for the service provider
IE_Country_Code	Indicate the country
Access network specific information elements	
IE_Network_ID	Identifier for the access network
IE_Roaming_Partners	Network operators with which the current network operator has direct roaming agreements
IE_Cost	Indication of cost for service or network usage
IE_Network_QoS	QoS characteristics of the link layer
IE_Network_Data_Rate	The maximum value of the data rate supported by the link layer of the access network
IE_Net_Frequencies_Bands	Frequency bands supported by the network
IE_Net_IP_CFG_Methods	IP Configuration Methods supported by the access network
IE_Net_Mob_Mgmt_Prot	Type of mobility management protocol supported
PoA-specific information elements	
IE_PoA_Link_Addr	Link-layer address of PoA
IE_PoA_Location	Geographical location of PoA. Multiple location types are supported including coordinate-based location information, civic address, and cell ID
IE_PoA_Channel_Range	Channel Range/Parameters. Spectrum range supported by the channel for that PoA
IE_PoA_IP_Addr	PoA IP address
Other information	
Vendor specific IEs	Vendor-specific services

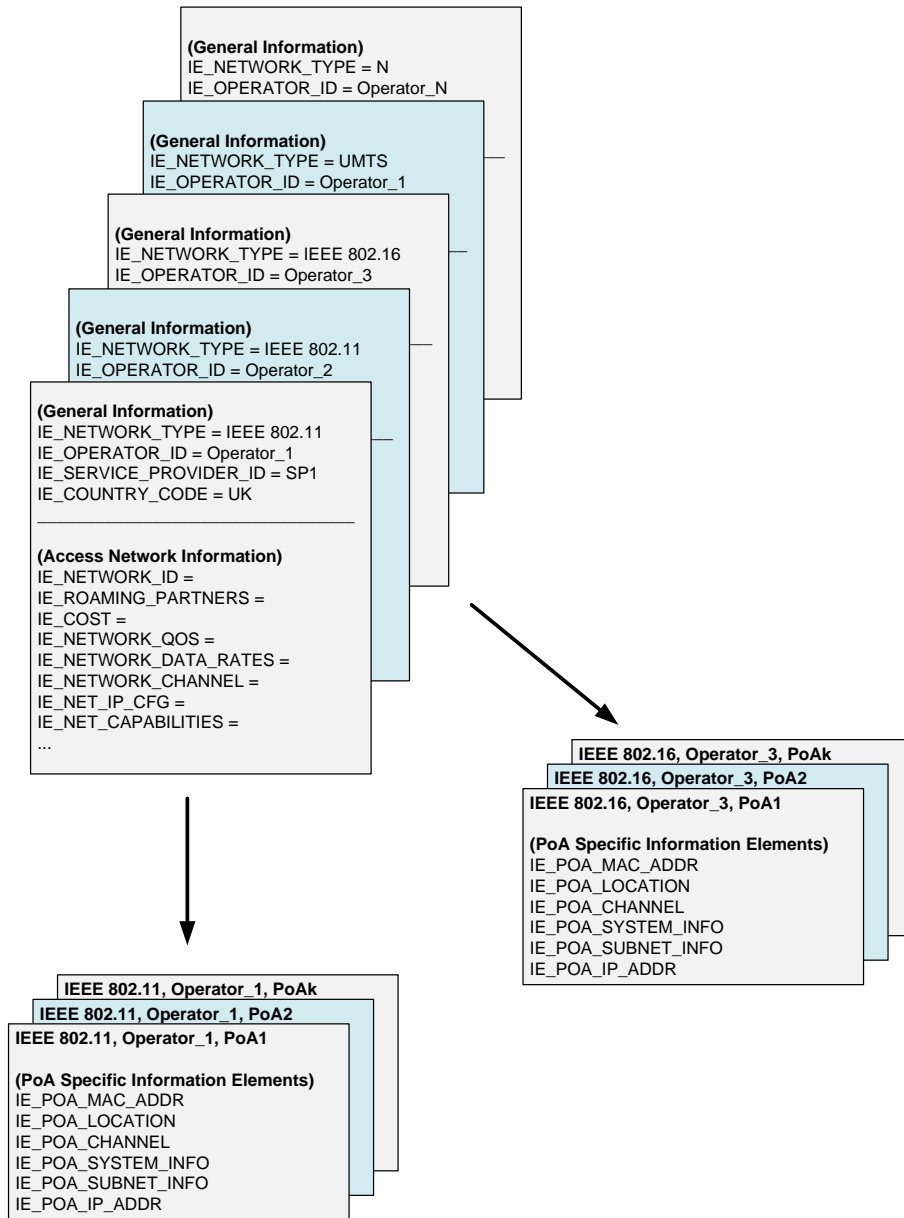


Figure 9.3: Information elements (IE)

## 9.4 Basic handover scenario

Figure 9.4 shows a handover flow chart between a Wi-Fi and a Wi-Max network in a mobile initiated handover. In the scenario, we have the following entities: one MN with two network interfaces (Wi-Fi and Wi-Max), one Wi-Fi PoA, one Wi-Max PoA and one MIIS server where all the mobility information is stored. The handover process is divided in the three main phases (initiation, preparation and execution).

In the following a detailed explanation of the three phases, its messages and procedures is presented:

1. **Handover Initiation:** initially the MN is connected to the Wi-Fi network through

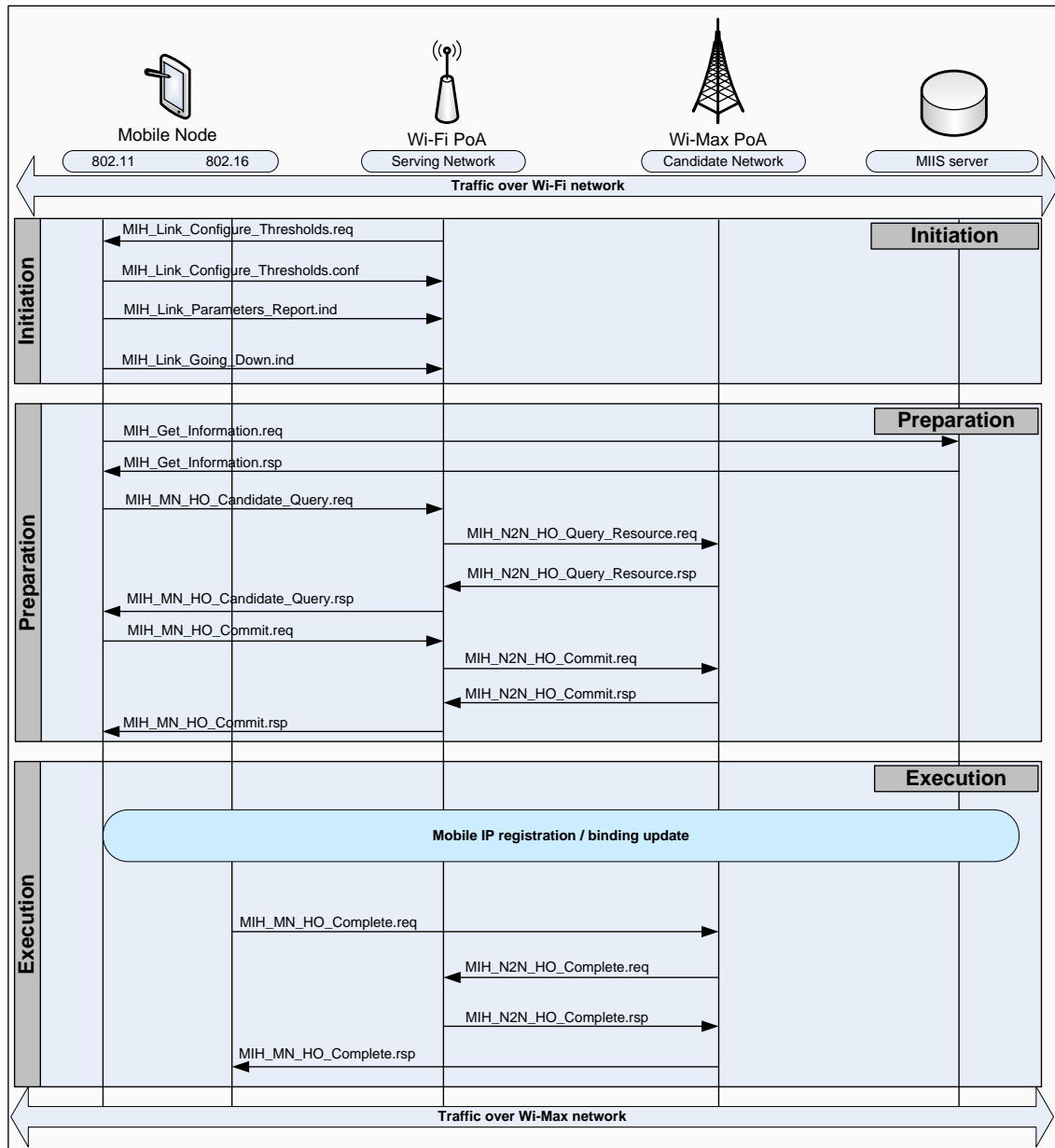


Figure 9.4: Basic handover scenario

the Wi-Fi PoA. The main objective of this phase is to identify whether or not a handover is needed. To do this, the MIH-User configures the Wi-Fi interface with some QoS thresholds values using the MIH Link Configure Thresholds request message, confirmed by the MN through the MIH Link Configure Thresholds confirmation message. At a specific time, the 802.11 interface reports QoS measurement through the MIH Link Parameters Report indication message. This event message is sent from the 802.11 MAC to the MIHF and is generated when a specified parameter of a currently active local interface crosses a configured threshold like signal strength, bit rate, delay, etc. This message indicates that the link will go down in a specific time interval and with a specific confidence. It also indicates the reason for this

link unavailability by two important fields: (1) time interval (in milliseconds) that specifies the time in which the interface will lose connectivity and (2) the reason why connectivity is lost.

2. **Handover Preparation:** so when the signal degrades significantly and the PoA can no longer guarantee the QoS requirements, the handover preparation phase begins. The objective of this phase is to search for available neighbor networks, verify the nature and condition of the link and then execute a decision algorithm to choose a network from the candidates. First, the MN queries information about neighboring networks by sending the MIH Get Information request message to the MIIS server. The MIIS server responds with MIH Get Information response message. Through these two messages, the MN gains an understanding of the neighbor networks. Once the MN receives the MIIS server response message, it has an overview of the neighboring networks and their main characteristics such as type of technology, service provider, cost per use, QoS, transmission channels, etc. Subsequently, the MN performs a network scan to certify that the networks are in range and available for connection. Then, the MN checks the available networks resources in each of the networks, by sending the MIH MN HO Candidate Query request message to the Wi-Fi PoA that forwards to the Wi-Max PoA. The Wi-Max PoA answers the MN's request through the MIH N2N HO Query Resource response message. It is important to remember that a resource availability check can be done with multiple networks and multiple PoAs. At the end of this phase, the MN has enough information about the candidate networks and can make the right handover decision. The last stage of the preparation phase is the network resources reservation, accomplished by the MIH MN HO Commit request and MIH MN HO Commit response messages.
3. **Handover Execution:** the handover execution phase starts the new layer 2 connection for the target Wi-Max network. The mobility management protocol (Mobile IP, MIPv6, FMIP, etc.) procedures are carried out between the MN and the Wi-Max network and the active sessions are now shifted over to the 802.16 network. This means that old (Wi-Fi) and new (Wi-Max) links are active simultaneously, minimizing the interruption. After the traffic flow is established at the new link layer and the resources over the old link are released. After this, all data can start flowing over Wi-Max interface.

## 9.5 Summary

The main objective of this chapter was to review the concepts and characteristics of handover in heterogeneous networks. In addition, there has been a detailed description of IEEE 802.21 standard which provides an intelligent architecture that allows handover between heterogeneous networks.

We have seen that the standard defines three basic types of services, event service, command service and information service that provide link layer intelligence and other network information related to the upper layers to optimize the transition between heterogeneous networks. These networks can be networks 3GPP, 3GPP2 and both wired and wireless networks belonging to the family IEEE 802 (802.3 - Ethernet, 802.11 - Wi-Fi, 802.16 - Wi-Max). Also, an example of a handover from a Wi-Fi and Wi-Max network with emphasis on the messages exchange between the MN and the PoAs is showed.





## Chapter 10

# Mobility Information System Deployment

This chapter describes the specification of a new mobility information system for heterogeneous network environments, denoted **hierarchical mobility information system (HMIIS)**. The primary objective of the HMIIS system is to establish the foundation for building large-scale, multi-domain information network discovery systems capable of facilitating handover in heterogeneous environments. To this end, we structure our design based on a set of evaluation criteria that we believe are critical to the construction of such MIIS architectures.

First, we define the conceptual model of the proposed system, which exposes a generic mobility information model. Then, three types of MIIS servers are specified in a hierarchical way: a Zone MIIS serving users in a given geographical area, a Local MIIS which controls several mobility areas belonging to an operator and a Global MIIS that allows communication between different operators. In the Global MIIS server a Service Level Agreement (SLA) is specified that allows two or more operators share mobility-related information.

Finally, a comparison is made between the main characteristics of each proposed MIIS server in relation to the architecture, deployment, scalability and response time to the mobile user and their possible physical locations within a large network with multiple access networks and operators. The chapter ends with a brief summary of the above in it.

### 10.1 Introduction

As previously mentioned, no concrete specification is made regarding the architecture of the MIIS server and infrastructure. Before describing our proposed HMIIS system, we introduce and indicate a set of open issues, requirements and possible solutions regarding the implementation and deployment of a MIIS, emphasizing important parameters:

- **Definition of the Information Server:** any entity with a MIHF is eligible to have or be a MIIS. There are no clear indications of whether it should be a service that is fully managed inside the MIHF, or if it should be a MIH-User that has information request commands sent to it. The first case adds some requirements to the MIHF (for example, access to a database and Authentication, Authorization and Accounting (AAA) infrastructure) whereas, in the second case, it falls down to the MIH-User to implement such mechanisms and also have a greater freedom for introducing information optimization algorithms. An issue raised here is where

the information server will be in terms of physical network placement, with possible deployments either at the core of the operator or more readily available at the access network.

- **Algorithm for deciding what information to provide:** The MIIS can contain a detailed view of a multi-operator network and associated services. How will that generic information be tailored to each individual MN, and suit the applications running therein, is an important matter since supplying too much information can produce heavy network usage, but insufficient information can result in sub-optimal handovers. This is particularly important when determining which information should be filtered, when the maximum query response size is capped, considering the limited processing capabilities of MNs.
- **How and when the information is updated and pushed to the MN by the MIIS:** Not only what information should be exchanged, but also when and how it should be exchanged are important issues. Although the information provided by the MIIS is of a more static nature (comparing with the event service), having information about service availability can induce the need to update the information on the MIIS on a more regular basis. Moreover, if information is pulled from a MIIS server to a MN, and then later updated at the server, information requesters might need to be informed that their local copy of the information is not up-to-date. Also, it is required to determine the best moment to push all this information to the terminal and how to best suit the information to the current perspective of the network's usage.
- **Definition of inter-operator information:** When handover opportunities involve different operators, the operator might have no incentive to provide information about other operator's networks that operate in their vicinity. However, not delivering this information can severely limit the MN's perception to a successful handover or result in connection loss. This can contemplate situations where MIIS is available at L2 level, in case the MN has more interfaces active, or also hint at the existence of wider-scope Internet-available global MIIS which can be accessed by the MN (or network) mobility management entity to obtain network information about possible handover candidates.

Based on the aforementioned issues and MIIS deployment requirements, we present potential MIIS architecture deployment and framework issues. The specification of a mobility information system depends on several factors including the number of access networks in a given area, number of operators and number of simultaneous requests from mobile users, among others. In a mobile environment where the amount of networks is small, the deployment of a mobility information system with only one MIIS server may be sufficient to serve all users. But if we consider a mobile environment where the amount of networks is sufficiently large with several operators and the networks of different technologies, it may need more than one MIIS server. Thus, the mobility information can be stored in a centralized way or distributed across multiple MIIS servers in a distributed way.

The proposed mobility information system considers the division of the access networks in **Heterogeneous Mobility Areas (HMA)** classified in a hierarchical manner, managed by different types of MIIS servers. We believe that a solution considering multiple access networks and operators has to contemplate a hierarchical splitting of the existing

information, taking into consideration the amount and detail of specific points of attachment of a single access network and the combination of all this detail for a number of access networks and different operators. Figure 10.1 illustrates the HMIIS system design.

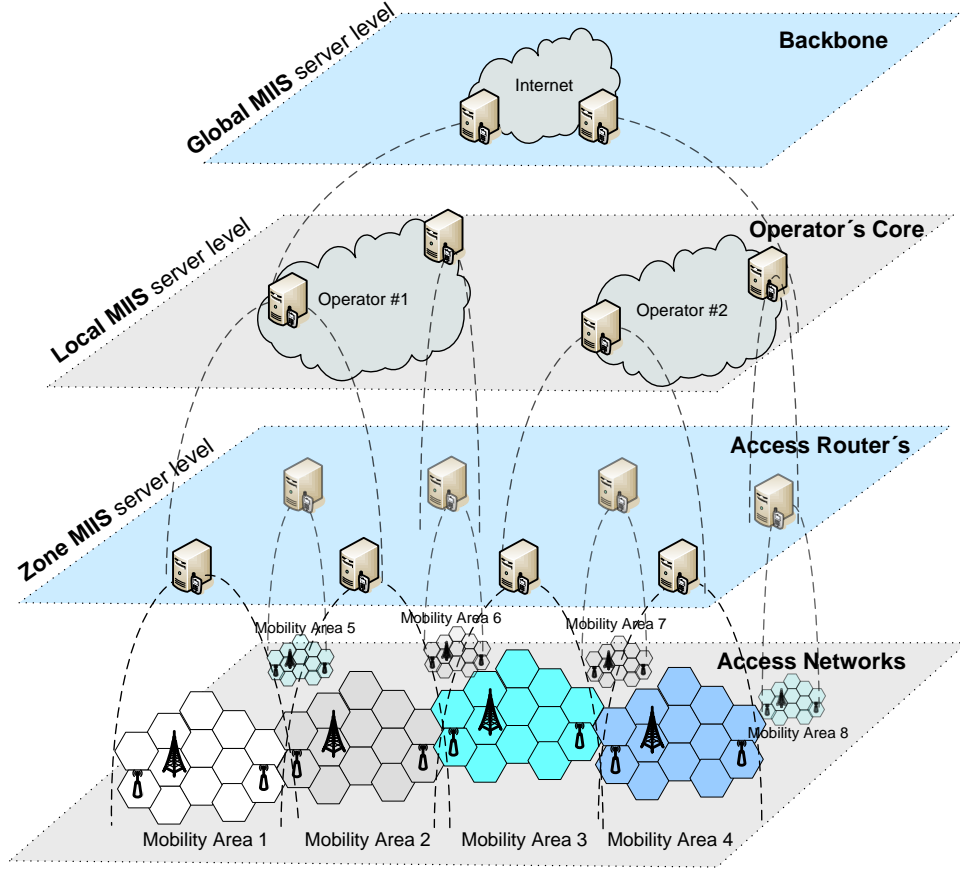


Figure 10.1: Hierarchical MIIS architecture design

From bottom to up, the first level of the hierarchy is composed by heterogeneous mobility areas defined by the amount of existing networks, users, while even considering areas where networks are overlapped. In the second level, a **Zone MIIS server** (ZMIIS) is in charge of supplying highly detailed information about specific network end-points in a particular zone or mobility region. The third level refers to the **Local MIIS server** (LMIIS) which manages the exchange of information between different networks managed by the same operator and the ZMIISs therein; and a fourth top-level refers to the **Global MIIS server** (GMIIS) which can be used to forward requests in multi-operator scenarios.

Following this scheme, the users are connected to PoAs which in turn are within the domain of a ZMIIS server. These are connected and communicate with LMIIS servers which in turn are connected to the GMIIS server. Finally, each operator's GMIIS server communicates with other GMIIS servers through a common backbone or Internet. Therefore, a hierarchical view of the mobility information structure can be achieved with specific nodes containing the detailed information, and higher hierarchical nodes enabling the interchange of the information from area to area.

## 10.2 Conceptual model

In order to represent the HMIIS system, a conceptual model is defined, as illustrated in Figure 10.2. We tried to define a generic model, so that the system can be used in different mobility scenarios. The bottom level is composed by  $k$  heterogeneous mobility areas  $HMA_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) being  $i$  the identifier of each mobility area. In the same level, we define  $l$   $ZMIIS_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, l$ ) being  $i$  the identifier of each  $ZMIIS$  server. In the second level, we specify  $m$   $LMIIS_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) being  $i$  the identifier of each  $LMIIS$  server. The third level refers to the specification of  $n$   $GMIIS_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) being  $i$  the identifier of each  $GMIIS$  server.

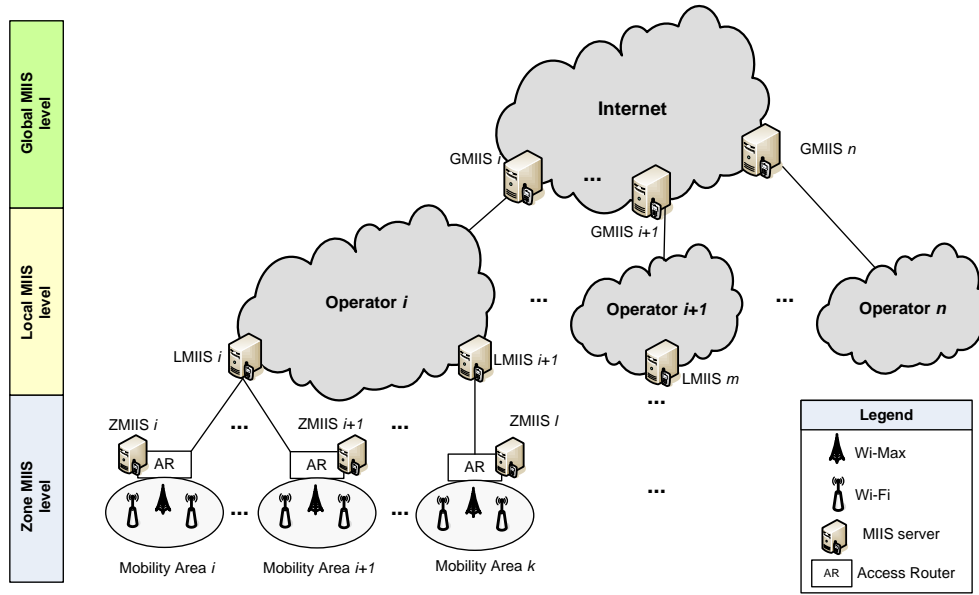


Figure 10.2: HMIIS conceptual model

An important detail regards the number of servers the hierarchy must have; and what information must be present at different levels of the structure. Regarding the amount of PoAs and MIIS servers per operator: each  $ZMIIS$  server can manage and store information from  $k$   $HMA_i$  being ( $i = 1, 2, \dots, k$ ). Each  $LMIIS$  server controls  $l$   $ZMIIS_i$  being ( $i = 1, 2, \dots, l$ ). Finally, the  $GMIIS$  server can manage  $m$   $LMIIS_i$  being ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). It is worth noting that we have specified only one  $GMIIS$  server per operator, not  $n$  servers as in the lower levels. This server has the role of representing the operator in the communication with  $GMIIS$  servers belonging to other operators, allowing the MN to make inter-domain handovers.

The deployment of this hierarchical view of information storage regarding multiple-operator scenarios, with different access and types of networks, provides a major benefit where a terminal, or a network management entity, is provided with a complete and consistent view of detailed handover possibilities information, without having that information stored in a single central entity. Also, this information availability can also be pushed to the terminal at bootstrap providing it with a view of nearby existing networks, to determine which interfaces to power up or to achieve an optimized connection right from the start. In the following, we analyze these different MIIS levels in detail.

### 10.3 Zone MIIS server (ZMIIS)

The ZMIIS server is specified for storing and controlling the information details of a single HMA, for a single operator. This kind of MIIS server stores the maximum mobility information from networks and PoAs in a particular HMA area. Using the ZMIIS server, the MN can perform a handover between two networks (media independently), where both networks belong to the same operator and are governed by a common ZMIIS server. One ZMIIS server can manage several access networks of different technologies and one operator can have several ZMIIS servers.

The ZMIIS server existing in a specific HMA stores detailed information referring to that HMA's network information which can be sent to a user, or network entity, querying about that HMA. The MN uses the ZMIIS server when in the movement from one network coverage to another; it receives a *MIH Link Detected* trigger from the MIHF and sends a MIH Get Information request message (containing the detected PoA identifier) to the ZMIIS server. Upon receiving the request, the ZMIIS checks if the detected PoA is registered, sending the *MIH Get Information response* message with detailed information about the PoA back to the MN. If the detected PoA is not registered, the ZMIIS server forwards the request to the upper MIIS server in the hierarchy, which is described in the next scenario. The reason by the MN triggers a MIIS query when a network is detected is due to the fact that the service advertisement messages (e.g. Wi-Fi beacons frames) are quite restricted and do not provide detailed mobility information (e.g., link-layer conditions, current available bandwidth, among others) to facilitate the handover decision. So, the MN asks the MIIS server to check if the detected PoA has better characteristics than the PoA that the MN is actually connected.

One can argue that most existing outdoors Wi-Fi PoAs are not registered in the MIIS server and are independently managed by commercial shops or by small companies. Nevertheless, operators are experiencing heavy growth in the 3G band usage. Some of them are changing their business model, displacing the mobile users from 3G networks to Wi-Fi hotspots managed by them, when the load in the 3G network is too great. As an example, FON and British Telecom announced that they had jointly created the BT FON Community<sup>1</sup>, name given to a network of Wi-Fi hotspots mostly found in cafés, hotels and airports. Actually, they offer and manage over 2.000.000 hotspots worldwide. In the future, the trend states the amount of small coverage PoAs managed by operators (either femto-cells, or Wi-Fi) is to increase more and more.

The ZMIIS server stores detailed information of all PoAs in a given HMA. In Figure 10.3, we can see the information elements that can be stored in the ZMIIS server.

In *General Information* the ZMIIS server stores operator's general information such as name, identifier, country code, etc. The *Network Information* container stores information from the network technologies present in the operator as well information such as cost per use, quality of service, roaming arrangements, supported mobility protocols supported, and so on. Finally, the group *PoA Information* contains information about specific PoAs. It stores information such as the PoA IP address, transmission channels, geographical location, etc. For our mobility information system, we have created a new IE denoted IE\_HMA\_ID according to which HMA the PoA belongs to.

The deployment of this kind of MIIS server has two major benefits. The first one is that the MN receives information only related to its general neighborhood environment, diminishing the MIIS information response in size. The second advantage is that since the MIIS is implemented inside the operator's zone, the MN can also have direct L2 access

---

<sup>1</sup><http://www.fon.com>

Information Elements		
ZMIIS server	LMIIS server	GMIIS server
General Information	General Information	General Information
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Network Specific Information	Network Specific Information	Network Specific Information
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
PoA Specific Information	PoA Specific Information	PoA Specific Information
IE_POA_ID = IE_HMA_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =

Figure 10.3: ZMIIS server information elements

to it, diminishing the response time. These two access methods enable both Network Controlled Handover (NCHO) and Mobile Controlled Handovers (MCHO) [MCDIO<sup>+</sup>07], where in the first case the MME at the network can use the MIIS to obtain detailed information prior to the handover decision, and in the later, the MME at the terminal can query the information itself.

## 10.4 Local MIIS server (LMIIS)

A LMIIS server can manage the information exchange between several ZMIIS servers belonging to a single operator. This LMIIS stores a light set of information about all the HMA it manages, being aware of which ZMIIS servers are related to which specific HMA. The MN uses a LMIIS server when it is performing a handover in which the target network belongs to another HMA, but in the same operator. In this case, the MN asks the ZMIIS server about the detected PoA. As the ZMIIS server has no information about the PoA, it forwards the request to the upper MIIS, that is, the LMIIS server that has a list of all neighbourhood PoAs. Once the LMIIS server receives the request from the ZMIIS, three different actions can be taken:

1. **Reply (local):** the LMIIS responds to the MN with correct information when the detected PoA belongs to one of its HMAs.
2. **Forwards to a remote LMIIS:** the LMIIS server checks in the table if the detected PoA belongs to the operator. If yes, the LMIIS knows which ZMIIS has the information, forwarding the request to it, through a remote LMIIS server. Upon receiving the message, the correspondent ZMIIS server responds to the MN with the correct information.

3. **Forwards to the GMIIS:** if the detected PoA does not belong to the same operator, the LMIIS forwards the request to the GMIIS server.

The LMIIS stores less information than the ZMIIS server, because it acts like a proxy between different HMAs. In Figure 10.4, we can see the information elements that can be stored in the LMIIS server.

Information Elements		
ZMIIS server	LMIIS server	GMIIS server
General Information	General Information	General Information
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Network Specific Information	Network Specific Information	Network Specific Information
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
PoA Specific Information	PoA Specific Information	PoA Specific Information
IE_POA_ID = IE_HMA_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =

Figure 10.4: LMIIS server information elements

In *General Information* the LMIIS server stores operator's general information such as name, identifier, country code, etc. The *Network Information* only contains the network identifier information. Finally, the group *PoA Information* contains information about specific PoAs. It stores two IEs: the IE\_POA\_ID and the IE\_HMA\_ID that helps the LMIIS server to redirect to the specific HMA that contains the required network information.

The deployment of a LMIIS controlling the ZMIIS servers of specific areas has three major benefits. The first one is that the LMIIS has a high-level control about the information about all the HMA areas and its networks, by knowing to which specific ZMIIS to redirect the information requests. The second one is that by filtering and pushing information between zones, a greater degree of options for MN handover is possible. Lastly, the LMIIS can be a network entity able to interact with the operator's AAA infrastructure, enabling it to determine if specific information details are available to nodes depending on their authentication.

## 10.5 Global MIIS server (GMIIS)

The GMIIS specification considers a MIIS server in a multiple operator environment. There are two possibilities for this kind of scenario: (1) the LMIIS of operator A exchanges information with the LMIIS of operator B or (2) there can be a higher-level MIIS, the GMIIS server, which is able to forward information requests between operators.



In recent years, the traditional model of a single network operator is changing. Several ideas and proposals [3GP04] [MRG11] [HJM04] [FTLA08] [BS05] have contributed to the role of infrastructure sharing in emerging markets, where operators will share not only infrastructure, but also services and mobility-related information.

A first consideration for this matter is that, in order to provide information interchange, inter-operator agreements should be employed to determine the information that is available. A collaboration agreement should be set between operators for information services availability. This is critical, because this scenario relies on an operator supplying information to another operator. However, if the MME has not got a clear picture of the handover possibilities, it will not have an optimized handover decision, so policies between operators that enable inter-operator handovers are envisaged in these environments.

Accessing critical information from other operator through non-secure links, and 3rd party servers, raises important security issues as well. Other than service agreements, the GMIIS servers must be able to access AAA frameworks where users can be authenticated prior carrying out the information query. One solution in secure inter-operator handover is presented in [DFD<sup>+</sup>08]. The authors propose a handover optimization framework denoted Media Independent Pre-Authentication (MPA) that enhances the inter-domain and inter-technology handover. The MPA specifies that a MN can establish a security association with the candidate network before it attaches to it and, subsequently, perform a security communication.

In the proposed HMIIS mobility system, the GMIIS server can be used when the MN moves between two different operators. In case the detected PoA does not belong to the same operator, the request is forwarded until the correspondent ZMIIS, through the GMIIS that knows exactly where the information is located. If the GMIIS has no information about the PoA, it means that the PoA is not registered, may be a residential PoA or any particular network.

Similarly with the LMIIS server, the GMIIS does not store any specific PoA information, but with one small difference, it also stores the IE\_INTER\_DOMAIN element, proposed by us and described below. Based on this information, the GMIIS knows if the detected PoA has any roaming agreement with the current MN's operator. Thereby, the GMIIS forwards the request message to the LMIIS and subsequently to the correspondent ZMIIS server.

It is worth mentioning that the standard provides an IE that identifies handover arrangements between two or more operators, the IE\_ROAMING\_PARTNERS. However, when using this IE, two operators share information about their networks, making it impossible to specify a set of networks, PoAs or HMAs in a specific geographical area. With the new IE\_INTER\_DOMAIN information element, an operator can specify PoAs, networks and HMAs it wants to share with other operators. Figure 10.5 illustrates the information elements stored in the GMIIS server.

In *General Information* the GMIIS server stores operator's general information such as operator name, operator identifier, country code, etc. The *Network Information* stores the network identifier information and the new IE, the IE\_INTER\_DOMAIN. Finally, the group *PoA Information* contains information about specific PoAs. It stores two IEs: the IE\_POA\_ID and the IE\_HMA\_ID that helps the LMIIS server to redirect to the specific HMA that contains the required network information.

### 10.5.1 Service level agreement between GMIIS servers

When handover opportunities involve different operators, the operator might have no incentive to provide information about network operators in their vicinity. However, not

Information Elements		
ZMIIS server	LMIIS server	GMIIS server
General Information	General Information	General Information
IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =	IE_OPERATOR_ID = IE_NETWORK_TYPE = IE_SERVICE_PROVIDER_ID = IE_COUNTRY_CODE =
Network Specific Information	Network Specific Information	Network Specific Information
IE_NETWORK_ID = IE_ROAMING_PARTNERS = IE_COST = IE_NETWORK_QOS = IE_NETWORK_DATA_RATE = IE_NET_FREQUENCY_BANDS = IE_NET_MOB_MGMT_PROT = IE_NET_MOBILE_NETWORK =	IE_NETWORK_ID =	IE_NETWORK_ID = IE_INTER_DOMAIN =
PoA Specific Information	PoA Specific Information	PoA Specific Information
IE_POA_ID = IE_HMA_ID = IE_POA_LINK_ADDR = IE_POA_LOCATION = IE_POA_CHANNEL_RANGE = IE_POA_SYSTEM_INFO = IE_POA_SUBNET_INFO = IE_POA_IP_ADDR =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =	IE_POA_ID = IE_HMA_ID =

Figure 10.5: GMIIS server information elements

delivering this information can severely limit the perception of the MN towards a successful handover, ultimately resulting in a connection loss. This can contemplate situations where the MIIS is available at L2 level (in case the MN has more interfaces active, whose access technology allows querying a MIIS prior to attachment), or also hint at the existence of wider-scope Internet-available global MIIS, which can be accessed by the MN (or network) mobility management entities to obtain network information about possible handover candidates.

In this way, several considerations must be done when specifying a distributed or hierarchical MIIS architecture in multiple operator environments. A first consideration for this matter is that, in order to provide information interchange, inter-operator agreements should be employed to determine the information that is available. A collaboration agreement should be set between operators for information services availability. This is critical, because this scenario relies on an operator supplying information to another. However, if the MN is not provided with a clear picture of the handover possibilities, it will not have an optimized handover decision. As such, policies between operators that enable inter-operator handovers are envisaged in these environments.

To enable this service agreement between operators, we introduce the **MIIS Service Level Agreement** model, abbreviated MSLA. The MSLA model specifies that each GMIIS server negotiates collaboration agreements with other GMIIS servers, enabling mobility-related information sharing. The GMIIS servers that use the MSLA model and have a collaboration agreement between them are known as neighbor's servers. A MIIS server only accepts requests from others with which it has agreements. Hence, the user can only obtain additional PoA information from another operator if the two GMIIS servers are neighbors.

In order to allow this behavior, we have specified a new IE, denoted IE\_Inter\_Domain. This IE is only stored in the GMIIS server of each operator. Table 10.1 illustrates the data structure which specifies the MSLA model that must be installed in the GMIIS servers.

Table 10.1: MLSA model

Data type	Derived from	Definition
IE_Inter_Domain	Choice (IE_Roaming_Ptns, Null)	Structure containing a list of operators wishing to share resources
IE_Roaming_Ptns	List (Operator_ID)	A list of collaboration partners
Operator_ID	Sequence (Op_Name, List(MSLA))	A type representing an operator identifier
Op_Name	Octect_String	A type representing an operator name
MSLA	Sequence (IE_HMA_ID)	A type representing the MSLA agreements
IE_HMA_ID	Octect_String	A type representing the HMA identifier

The IE\_Inter\_Domain element is defined as a set of Roaming\_Ptns elements. In turn, each of these elements is a list of collaboration partners based on the Operator\_ID information. The Operator\_ID is divided into two fields: the operator's name (Op\_Name) and the list of agreements MSLA. The MSLA field represents the existing agreements between different GMIIS servers and consists of a list of HMAs. Using this structure, MIIS server can verify, for example, that the HMA A from operator A has a MSLA agreement with the HMA B of operator B. Having this agreement with the area HMA B, the users from area HMA A can query for information about any PoA belonging to the HMA area B. Furthermore, this structure has complete flexibility as it allows the specification of service agreements between different mobility areas, or integrally between operators.

Table 10.2 summarizes the main characteristics of each MIIS server deployment scenario. One further consideration must be done regarding the hierarchical MIIS architecture. The usage of a particular one depends on the operator's network infra-structure and business and commercial strategies.

We are envisioning the HMIIS deployment as a part of the Future Mobile Internet, which will allow the mobile user to move between several networks in a seamless manner.

## 10.6 Detailed operation

In this section, we present the detailed operation of the HMIIS at different levels of the proposed architecture. First, an algorithm is specified to describe the operation phases. Then, we illustrate the use of the HMIIS system through a heterogeneous scenario, in which the MN performs handovers using the three specified MIIS servers.

An important issue in the handover process is the ideal point in time to query the MIIS server about candidate networks. Available options to the MN are sending a *MIH Get Information request* message when it detects a new PoA through the *MIH Link Detected*

Table 10.2: MIIS Deployment Scenarios Comparison

Deployment	Architecture	Comments	Number of discovered PoA	Signaling
ZMIIS	Centralized, direct access to zone-specific MIIS Server	Easiest to deploy, single MIIS in a single zone. Unscalable.	Small, only zone-specific PoA information is available	Best performance, quick replay to zone specific PoAs
LMIIS	Hybrid, direct MIIS Server can forward information request to a server in correct zone	High-level control about several ZMIIS, needs inter MIIS protocol and updates regarding zoning. Fully trusted administrative domain.	Medium, can redirect to other MIIS for PoAs belonging to another zones	It has a longer RTT but offers more candidate PoAs to handover, from different zones.
GMIIS	Fully Distributed, can contain multi-operator information, depending on service agreements	Support for inter domain handovers, requires inter operator service agreements and inter MIIS protocol	Large, can obtain information from PoAs of another operator	As GMIIS acts as a single proxy to the others MIIS, it has a good signaling performance, but requires up-to-date proxying information between Zone, Local and Global MIIS servers

(LD) trigger, or when the signal power is attenuating, receiving a *MIH Link Going Down* (LGD) trigger from the MIHF.

The problem of using the first approach is that involved interfaces must be active and scanning, which drains battery power. The second alternative also has problems since the MN may not have enough time to wait for the response message from the MIIS server: due to the movement of the terminal, the answer can come up when the conditions have degraded beyond reparation, possibly even preventing the response reception. Although our framework is flexible enough to support both query triggers, for evaluation purposes of this work, we have opted for the first method of triggering the MIIS query message.

Algorithm 1 shows how the HMIIS mobility information system operates. In the bootstrapping process, the MN checks all available networks, selecting one as the current PoA. The operator also assigns a ZMIIS server in order to provide mobility information to the MN. When moving within range of another network, the MN receives a LD trigger. Once the LD is received, the MN sends a MIH Get Information request message to the ZMIIS server containing the detected PoA identifier in order to obtain more detailed information. The ZMIIS checks if the detected PoA belongs to the same HMA, and if so, sends a *MIH Get Information response* message to the MN with the required information. We denoted this action as **Intra-HMA mobility**.

If the MN is crossing two different HMA from the same operator, the ZMIIS forwards the query to the LMIIS server, which in turn contacts the target ZMIIS server, performing **Inter-HMA mobility**. This action may involve the participation of another LMIIS server, in case the HMAs areas are distributed over several LMIIS servers.

In case that the detected PoA belongs to another operator **Inter-operator mobility**, the LMIIS forwards the message to the GMIIS server. The GMIIS checks all available MSLAs agreements and forwards the request to the specific GMIIS server knowing to which specific ZMIIS it has to redirect the query message. In this way, the ZMIIS server that holds the desired information replies using the *MIH Get Information response* message.

Upon receiving the MIH Get Information response message from any of the specified MIIS server, the MN performs an optimized handover decision.

**Algorithm 1** HMIIS detailed operation

---

```

Bootstrapping
ZMIIS server assignment
while MN movement and detects a new PoAid do
    MN sends a query (PoAid) to ZMIIS server
    ZMIIS checks the query
    if related to the same HMA then
        Intra-HMA mobility
        ZMIIS sends response message
    else
        ZMIIS forwards the query to LMIIS server
        LMIIS checks the query
        if belongs to its managed HMAs then
            Inter-HMA mobility
            LMIIS contacts the target area's ZMIIS
            target ZMIIS sends response message
        else
            if belongs to the operator then
                LMIIS contacts the remote LMIIS
                remote LMIIS contacts the target area's ZMIIS
                target ZMIIS sends response message
            else
                Inter-operator mobility
                LMIIS forwards the query to GMIIS server
                GMIIS checks all available MSLA agreements
                GMIIS contacts the target operator
                target operator's sends response message
            end
        end
    end
    MN receives MIIS response message
    MN performs an optimized handover decision
end

```

---

## 10.7 Heterogeneous scenario

Figure 10.6 illustrates a common heterogeneous scenario in which the MN performs three different handovers using the HMIIS system. We considered a scenario in which all PoAs are registered and managed by the MIIS server. There are three types of actions defined according to the operation in the network, summarized in Algorithm 1.

In the Intra-HMA mobility (**operation A**), the user is moving between two PoAs, where both networks belong to the same operator and are governed by one common ZMIIS. In order to obtain information about the detected PoA, the MN communicates with the ZMIIS 1 that sends a MIIS response message containing the required information.

In the Inter-HMA mobility (**operation B**), the user is moving between two PoAs that do not belong to the same HMA. In this way, whenever the MN detects the PoA from the neighbour HMA, it contacts the ZMIIS 1 that forwards the query to the LMIIS 1 and then redirects to the ZMIIS 2 that replies with the required information about the detected PoA.

In the Inter-operator mobility (**operation C**), the MN detects a PoA that belongs to

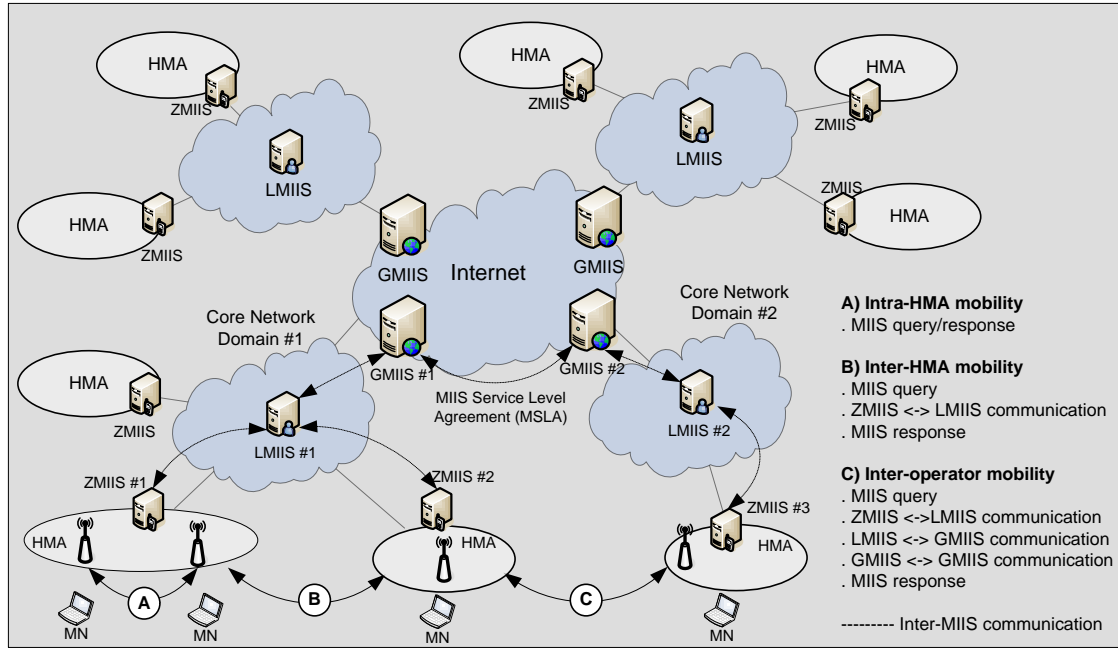


Figure 10.6: HMIIS detailed operation

another operator. Through the HMIIS architecture, the MN is able to contact the exactly ZMIIS (3 in this case) that stores information about the detected PoA. The communication between different operators is possible due to the fact that the GMIIS 1 and the GMIIS 2 communicate each other to check the available MLSA agreements.

Standard IEEE 802.21 messages are used in the inter-MIIS communication performed in the three specified mobility phases. Through MIH Get Information indication message, any MIIS server can forward queries and responses over the HMIIS architecture. The benefit is that no additional messages need to be specified.

## 10.8 Summary

The main objective of this chapter has been to specify a mobility information management system in order to improve neighbor discovery phase and to enhance the quality of handovers between networks from different technologies and different operators that is demonstrated in the next chapter, through an exhaustive simulation. Our system considers the division of access networks in heterogeneous mobility areas being managed by three different MIIS server types, the ZMIIS server, the LMIIS and finally the GMIIS server in a hierarchical way.

It has also been a comparison of the characteristics of each proposed MIIS server, highlighting their properties, their skills and their benefits. The hierarchical mobility scheme is part of what we call the Future Mobile Internet where telecom operators share network infrastructure and services and the user can roam through different networks of different technologies and multiple operators.

## Chapter 11

# Simulation and Results

This chapter covers the simulations considering various realistic scenarios that test the applicability of our proposal. To do this, we use the network simulator NS-2 [NS-] which is the most widely used simulator by researchers, research and development centers and technology companies in evaluating new network protocols. First, we mainly discussed the technical characteristics of the simulation, the functionality of the network simulator and the changes we had to do to develop our hierarchical mobility information system. Subsequently, we describe the simulation scenarios where wireless networks such as Wi-Fi, Wi-Max and 3G are specified to certify the validity of our proposal.

This chapter also deals with simulation metrics that have been studied in this work, where we have evaluated the neighbor discover delay, the communication overhead, the optimal number of handovers performed by the MN, amongst others. The chapter ends with a brief summary of chapter.

### 11.1 Introduction

The field of telecommunication networks has grown exponentially worldwide. The new technologies need time to be produced or experienced commercially. Therefore priority is given to provide a network simulator that offers powerful tools in order to design network models; simulate and analyze data technologies before they reach end users.

The official version of the IEEE 802.21 standard with full functionality was released in early 2009, so that manufacturers and carriers are only a couple of years working on the implementation and testing of the technology.

The implementation of the IEEE 802.21 standard with which we work was developed by NIST (The National Institute of Standards and Technology) available at [Nis07], also known as NS-2.29 version. Practically all of the items that work with the IEEE 802.21 and somehow have performed simulations have worked with the implementation of the NIST.

The original implementation of the IEEE 802.21 standard by NIST supports several mobility services and includes several features of the standard. However, there are many other features (among them is the MIIS service) that are not implemented in the version available on the official website. The version with which we work is a modification of the NS-2.29 made by the group NAP (Network Architectures and Protocols)<sup>1</sup> of the Telecommunications Institute, University of Aveiro - Portugal. The group made several changes to the initial standard implementation, adding improvements to the MAC layer as well as

---

<sup>1</sup><http://nap.av.it.pt>



better support to the UMTS technology<sup>2</sup>.

To support our hierarchical mobility system, we had to make a number of changes and new implementations in the NS-2.29 code. Among the changes we have made is the implementation of MIIS information server, their information elements, messages and the whole algorithm of HMIIS mobility information system. So we had to create the MIH Get Information request, MIH Get Information indication and the MIH Get Information response messages in accordance with the original specification of the standard and then we added three new IE: IE\_Zone\_ID, IE\_Inter\_Domain and IE\_Inter\_Cache.

## 11.2 Analytical model

For evaluation purposes, we have conceived a scenario where the ZMIIS server is deployed closer to the MN (at the access router (AR)), the LMIIS server is installed in the operator's core network and the GMIIS is placed as a server located in a common administrative space (e.g., the Internet). In order to compare the results with the standard MIIS, the IEEE 802.21 specifies a MIIS server that could be located inside the operator or in a common backbone. If the standard MIIS is located inside the operator, it has almost the same physical location that the LMIIS server, but without the ability to communicate with MIIS servers from other operators. We designated this MIIS server as **Std.Operator**. In another way, the standard MIIS could be serving more than one operator, acting as a GMIIS server, deemed **Std.Global**. To verify that the HMIIS architecture achieves better results than the conventional MIIS system, two main analytical metrics are evaluated [BGVC<sup>+</sup>11]:

1. The MIIS query delay
2. The average MIIS server access time for finding PoA information, for different probabilities of missing information in each MIIS server;

### 11.2.1 MIIS query delay

An analytical model is derived for evaluating the first metric: the MIIS query delay. The MIIS query delay is the total time taken by MIH protocol messages, from the instant the MN requests for network information sending a *MIH Get Information request* message, up to the time where the MN receives a *MIH Get Information response* from a MIIS server. The MIIS query delay mainly depends on two metrics: the transmission delay for each technology and the number of hops between the MN and the MIIS server.

The model also considers that  $\alpha$  is the transmission delay on wireless link,  $\beta$  is the transmission delay on wired link,  $\gamma$  is the transmission cost per one hop in the current access link layer technology and  $H_{x-y}$  is the number of hops between two network entities ( $x$  denotes the transmitter and  $y$  denotes the receiver). In such a system, the required time to get information from the ZMIIS server is equal to:

$$T_{ZMIIS} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-ZMIIS})]$$

The required time to get neighbour network information using the LMIIS server can be represented by:

---

<sup>2</sup><http://nap.av.it.pt/research-areas/mobility>

Table 11.1: Analytical model parameters

Parameter	Value	Description
$\alpha$	real time	Transmission delay on wireless link
$\beta$	5, 10, 15, 20, 25 ms	Transmission delay on wired link
$\gamma$	1	Transmission cost per hop in the current radio technology
N	3-15	Hop count between PoA and GMIIS server or Std. Global
$H_{MN-PoA}$	1	Hop count between MN and PoA
$H_{PoA-ZMIIS}, H_{ZMIIS-PoA}$	1	Hops between PoA-ZMIIS
$H_{ZMIIS-LMIIS}, H_{LMIIS-ZMIIS}$	Round $((N/2)-1)$	Hops between ZMIIS-LMIIS
$H_{LMIIS-LMIIS}$	1	Hops between LMIIS-LMIIS
$H_{LMIIS-GMIIS}, H_{GMIIS-LMIIS}$	Round $(N/2)$	Hops between LMIIS-GMIIS
$H_{GMIIS-GMIIS},$	1	Hops between GMIIS-GMIIS
$H_{PoA-Std.Operator}$	Round $(N/2)$	Hops between PoA-Std.Operator
$H_{PoA-Std.Global}$	N	Hops between PoA-Std.Global

$$T_{LMIIS} = T_{ZMIIS} + 2\gamma\beta(H_{ZMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS})$$

In case the MN is crossing networks from different operators, the delay experienced to get the desired information using the GMIIS is given by:

$$T_{GMIIS} = T_{LMIIS} + 2\gamma\beta(H_{LMIIS-GMIIS} + H_{GMIIS-GMIIS} + H_{GMIIS-LMIIS} + H_{LMIIS-ZMIIS})$$

Using the Std. Operator implementation the delay is given by:

$$T_{Std.Operator} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-Std.Operator})]$$

Finally, using the Std. Global implementation the delay is given by:

$$T_{Std.Global} = 2\gamma[\alpha(H_{MN-PoA}) + \beta(H_{PoA-Std.Global})]$$

The performance measurements consider the values illustrated in Table 11.1, closed to the values used in [YCG10] and [FCL<sup>+</sup>07].

Some considerations must be made on the values listed in Table 11.1. Regarding the wireless link delay, our simulation shows that the time depends on the used technology, being a real-time measured value. This time usually varies from 7ms to 12ms for Wi-Fi, 8ms to 13ms for Wi-Max and 15ms to 26ms for UMTS networks. In the simulation, the wired link delay was configured to 5ms. The cost of transmission per hop in a given link has a value of 1, which means that the processing time on each server MIIS is negligible, in the order of nanoseconds.

The variable N is the number of hops between PoA and the GMIIS server or the Std.Global server, ranging from 3 to 15. The number of hops between the MN and the

PoA is 1 (wireless), between the PoA and the ZMIIS server is also configured with the value 1 because the idea is to have a ZMIIS always closer to the MN. Then, the number of hops between the ZMIIS server and the LMIIS is  $\text{round}((N/2)-1)$ , which means that the LMIIS server is in the midway between the PoA and GMIIS server. The number of hops between the LMIIS and GMIIS servers is  $\text{round}(N/2)$ . The number of hops between two LMIIS servers of the same operator is 1 and the number of hops between two GMIIS servers is also 1. Finally, the number of hops between PoA and the Std.Operator is  $N/2$  and between the PoA and the Std.Global is set to  $N$ .

### 11.2.2 Probability of finding point of attachment information

Figure 11.1 presents the average MIIS server access time for finding PoA information, for different probabilities of missing information on the ZMIIS server, and with different curves for different probabilities of missing information on the LMIIS server. In this simulation we define the value of variable  $N$  as 6 (simple architecture), it means, there is one hop between PoA and ZMIIS server, two hops between ZMIIS and LMIIS and three hops between LMIIS and GMIIS servers.

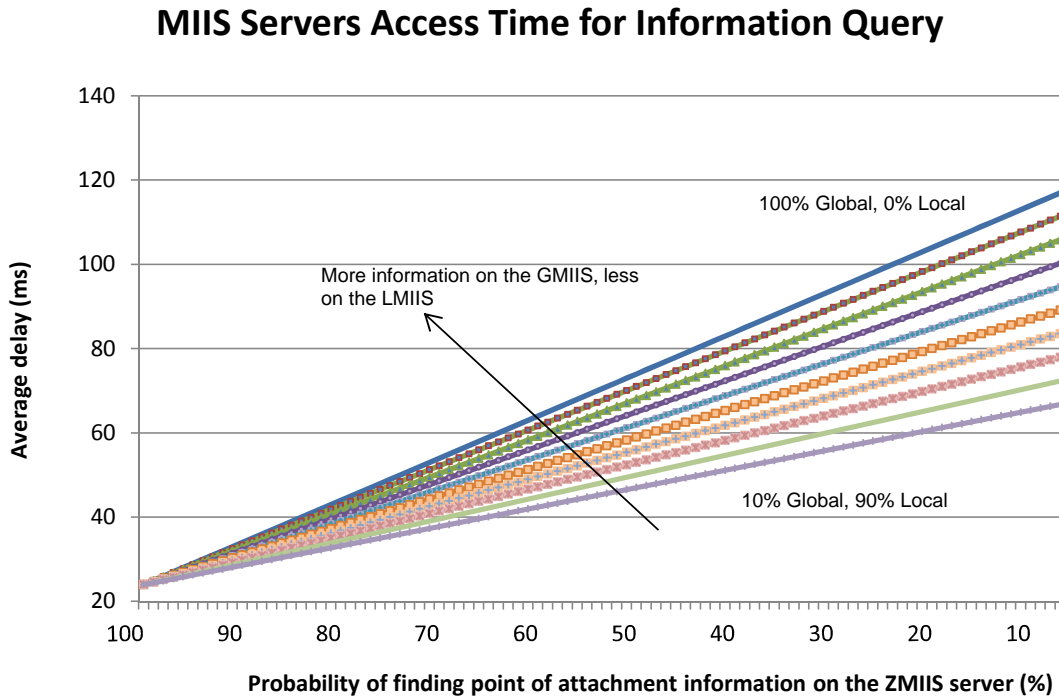


Figure 11.1: Probability of finding point of attachments information on the ZMIIS server

Our simulation results show that the user experiences an average MIIS server access time from 24 milliseconds (using the ZMIIS server), 64 ms (using the LMIIS server) up to 124 milliseconds (using the GMIIS server) for the best, medium and worst probability of finding PoA information.

The results clearly show that if the information exists at the closest server, the response is faster, but if the information is only available after contacting the higher hierarchical

MIIS server, we have to account longer processing time plus the added request time towards the second (or third) server. Nevertheless, if the target MIIS is more hops away, the MN's radio could go to low power mode while wait for the response, presenting a clear trade-off between power consumption, quality of the received information and response speed.

In the following simulations, we see that in most of the time the MN finds the desired information in the ZMIIS server (closest server), which dramatically reduces the time for obtaining the mobility information if compared to the standard MIIS server in any of its two implementations.

### 11.2.3 Average MIIS query delay per number of hops

The figure below illustrates the average delay when the MN triggers a request for information to each of the different types of MIIS servers (ZMIIS, LMIIS, GMIIS, Std.Operator and Std.Global). The values are based on the number of hops between PoA and GMIIS server or PoA and Std.Global (variable N) server.

Our proposed mobility information system believes that the MN should always have a ZMIIS server until two hops away (one from MN to the PoA and another one from the PoA to the ZMIIS server). The LMIIS server is at the core of the operator, so is about half of the total hops and then the GMIIS server is N hops away. Thus, when there are 15 hops between PoA and GMIIS server, it means that there is a 1 hop between the PoA and ZMIIS, 7 hops between the ZMIIS and LMIIS and finally there are 7 hops between the LMIIS and GMIIS. In case that the MIIS server is a standard implementation, the PoA is 8 hops from the Std.Operator and 15 hops from the Std. Global server.

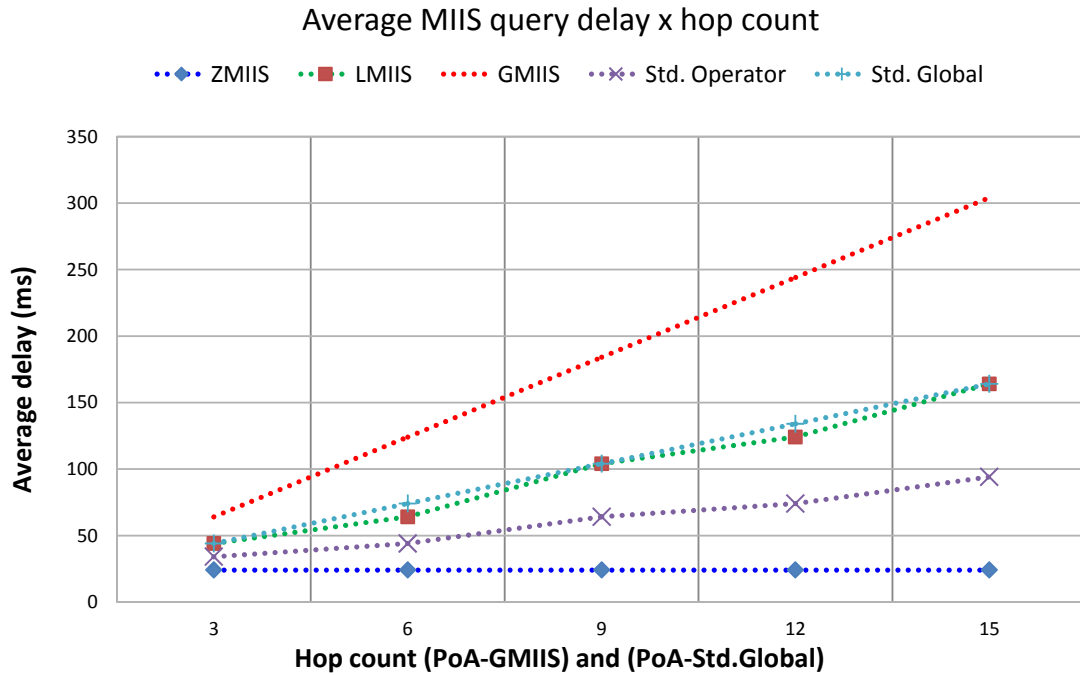


Figure 11.2: Average MIIS query delay

As shown in Figure 11.2, the MIIS query using the ZMIIS server always presents an average delay of 24 ms, due to the fact that the ZMIIS is always one hop away from the

PoA to which the MN is connected. The main idea of ZMIIS is to provide a fast response to the MN. The LMIIS presents an average delay which varies from 44 ms to 164 ms. The GMIIS provides an average delay between 64 ms and 304 ms. The Std.Operator has an average delay between 34 ms and 94 ms and the Std.Global provides an average delay between 44 ms and 164 ms. The LMIIS and Std.Global present delay values quite similar, independent of the number of hops that are between PoAs and the MIIS server.

Despite the large time using the GMIIS server, the MN can perform handovers between different operators, resulting in better overall performance as it moves through a given scenario. Although the Std.Global implementation also allows handovers between operators and has a lower delay, the idea of the proposed HMIIS system is that the MN performs more queries using the ZMIIS server than the GMIIS server. We demonstrate it using a simulation with random mobility movement (see section 11.5) where it is found that the total time delay is less using the HMIIS implementation than using the standard MIIS servers.

### 11.3 Measured parameters

In this work, we evaluate the following simulation metrics:

- **Throughput:** in this metric we evaluate the average performance achieved by the MN during their movement for a particular area of the designed scenario. This metric is measured in Mbps (megabits per second).
- **Neighbour discovery time:** is the total time taken by MIH protocol messages, from the instant the MN requests for network information sending a *MIH Get Information request*, up to the time where the MN receives a *MIH Get Information response* from any MIIS server.
- **Number of optimal handovers:** in this metric we calculate the optimal number of performed handovers by the MN using the HMIIS system compared to the standard MIIS server deployments.
- **Communication overhead (bytes):** we also evaluate the generated overhead by messages exchange for obtaining mobility information from different servers of HMIIS system.
- **Scanning delay:** the time the MN lasts to scan and detect Wi-Fi networks.

To evaluate the HMIIS system applicability, we have created two scenarios that simulate various types of handovers (between domains, between different technologies, etc.). First, a simulation using a linear MN movement is done [BGVC<sup>+</sup>10]. Then, in the second simulation, the MN moves in a randomly way [BGVC<sup>+</sup>11]. The simulation tries to bring as much as possible to what would be a real scenario.

### 11.4 Linear mobility

In this first simulation, the user moves through the simulation scenario doing a linear movement. In this type of movement, it can be known in advance the path the MN will do. This simulation clearly highlights the benefits of using the proposed hierarchical architecture.

Table 11.2: Access networks characteristics

Access Network	Description	Data Rate
UMTS	PoA without load	384 Kbps
Wi-Fi	PoA with background traffic	1 Mbps
Wi-Max	PoA without load	11 Mbps

### 11.4.1 Simulation scenario

To obtain the results, we used a scenario where the user moves through different networks belonging to two operators, shown in Figure 11.3. The characteristics of the networks are listed in Table 11.2.

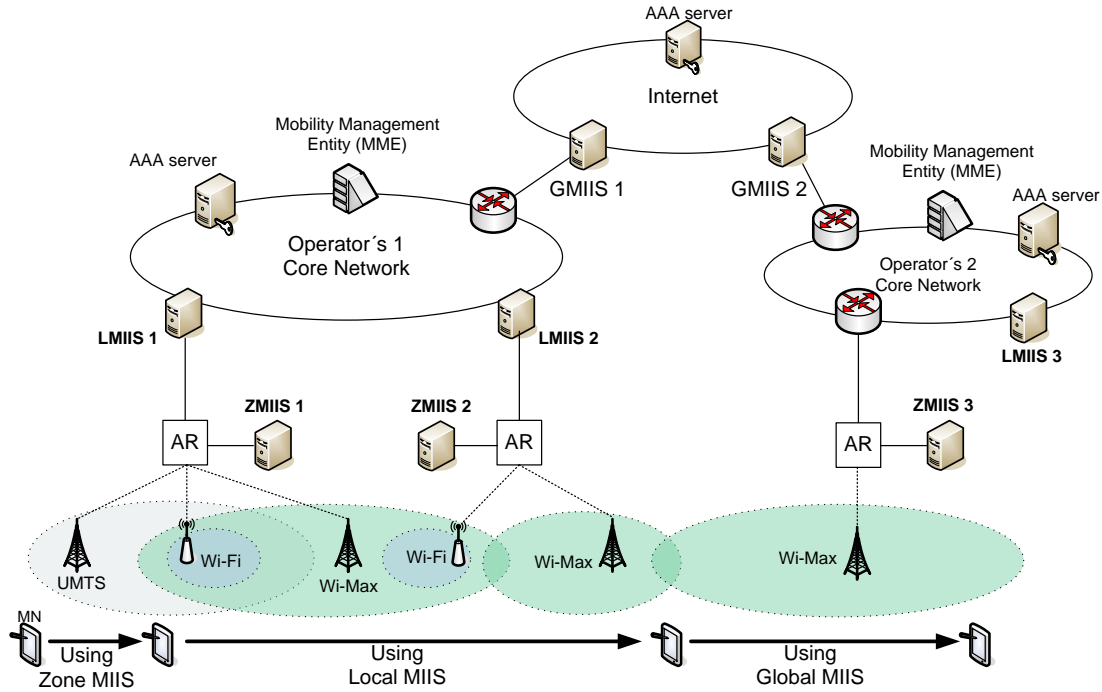


Figure 11.3: Simulated heterogeneous scenario

The scenario (Figure 11.3) is composed by two operators. The first one holds one UMTS network, two Wi-Fi PoAs and two Wi-Max PoAs. The second operator consists of one Wi-Max PoA. The PoAs are divided into different HMAs, each one managed by one ZMIIS server, installed on the Access Router (AR) of an access network. Each ZMIIS is managed by a LMIIS server that is installed on the core network side. Each operator has one GMIIS server that communicates with the another operator. The GMIIS is a server located in the Internet or some common operator's backbone. Finally, a multi-modal MIH-capable node is moving through the scenario, performing several handovers. The access networks characteristics for the simulation are described in Table 11.2.

The UMTS network is a PoA that has no traffic, that is, a network that has no

overhead and gives the user a data rate of 384 Kbps. The Wi-Fi PoAs are networks with some traffic; users are connected and the MN enjoys only 1 Mbps of transmission rate. Finally the Wi-Max PoAs are networks with no traffic and offers 11 Mbps for MN to communicate at high speed.

According to the algorithm of the proposed HMIIS system, when the user detects a new network, sends a *MIH Get Information request* message to the ZMIIS server asking for more detailed information from the PoA. Acquiring this information, the MN can make a better decision to make the handover. Therefore, the handover decision algorithm installed in the MN has the following order of connection preference: Wi-Max, Wi-Fi networks and finally the UMTS network.

Two performance metrics are evaluated (representing the average of fifteen independent runs): the average throughput and the neighbor discovery time.

#### 11.4.2 Throughput

We first measure the average throughput experienced by the MN when moving through the scenario. We compare the results with the Std. Operator implementation (the main idea of the IEEE 802.21 standard), installed in the Operator 1.

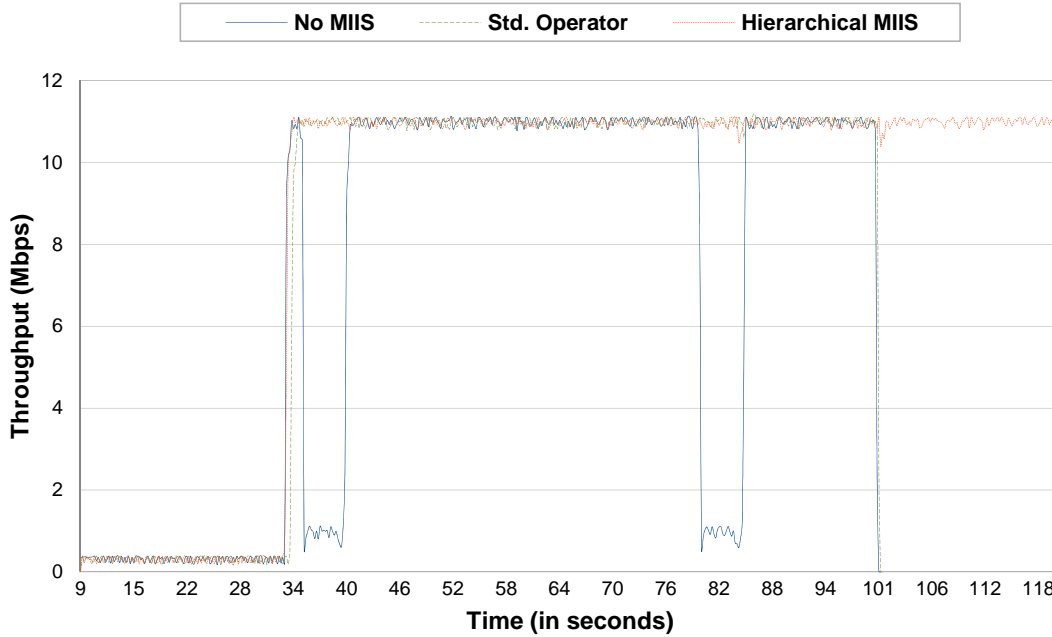


Figure 11.4: Average MN throughput

Without using the MIIS functionality (**No MIIS**), the MN performs handovers to non-optimal PoAs, due to the fact that it has no information about their status (blind handovers), as illustrated in the Figure 11.4. Using the **Std.Operator**, the MN performs optimized handovers, enjoying the PoAs without load obtaining a good throughput. However, the Std. Operator does not perform handover between different operators, thus not taking advantage of the Wi-Max network from Operator 2, after the 100 s mark in the figure.

Finally, using the **Hierarchical MIIS** deployment, the MN has knowledge of which

Table 11.3: Neighbor discovery time

MIIS	Description	Delay
Zone	2-3	34-45 ms
Local	3-6	64-103 ms
Global	4-10	108-207 ms
Std. Operator	3-8	54-104 ms
Global	-	80-5829 ms

networks are good handover candidates. Through the GMIIS, the MN performs an inter-operator handover in the 100 s mark, achieving much better throughput in the movement.

### 11.4.3 Neighbor discovery time

We also evaluated the neighbor discovery time, which is the total time from the instant the MN requests information up to the time where the MN receives a response from any MIIS server. The effect of the hop count in the neighbor discovery time is summarized in Table 11.3.

Considering these times, the ZMIIS has a very fast response time, allowing the MN to make optimized handover decisions. The Std. Operator and the LMIIS provide similar discovery times since they have the same physical location inside the network. However, the LMIIS presents two main benefits: has a high-level control about the information, by knowing to which ZMIIS to redirect the requests; by filtering and pushing information between zones a greater degree of options for MN handover is possible. The GMIIS presents a clear tradeoff between response time and handover quality, allowing inter-operator handovers.

As values for comparison with other schemes: [LKS09] presents a query delay of 2.2 s for a MIIS centralized implementation and [YCG10] shows that the MN may experience a discovery delay ranging from 80ms to 5.8 s, depending on the technology and the scanning method.

## 11.5 Random mobility

In this simulation we use the Random Way Point (RWP) mobility model since it is the most widely used mobility model for simulations with user random movement. In the RWP model the user moves in a straight line at constant speed between two points within the limited space for movement (simulation area). So, when moving, the user determines the coordinates (x, y) of the next destination with a random variable. Once a destination is reached, the user stops the movement for a pause time T. In each movement, the user moves at a constant speed through a uniform distribution within the interval  $[0, V_{max}]$ , being the maximum speed  $V_{max}$  (shown in m/s).



### 11.5.1 Simulation scenario

As it can be seen in Figure 11.5, the simulation scenario is divided into two operators denoted Operator 1 and Operator 2. Both operators have the same characteristics in terms of number of PoAs, HMAs, MIIS servers, networking technologies and available coverage area.

Each operator features four HMAs, four ZMIIS servers, one LMIIS server and one GMIIS server. Figure 11.5 illustrates the MIIS physical network placement. The ZMIIS server was deployed closer to the MN (at the access router (AR)), the LMIIS server was installed in the operator's core network and the GMIIS was placed as a server located in a common administrative space (e.g., the Internet). There is a MSLA service agreement between the two GMIIS servers, which allows the MN to handover between operators in a transparent and seamless manner.

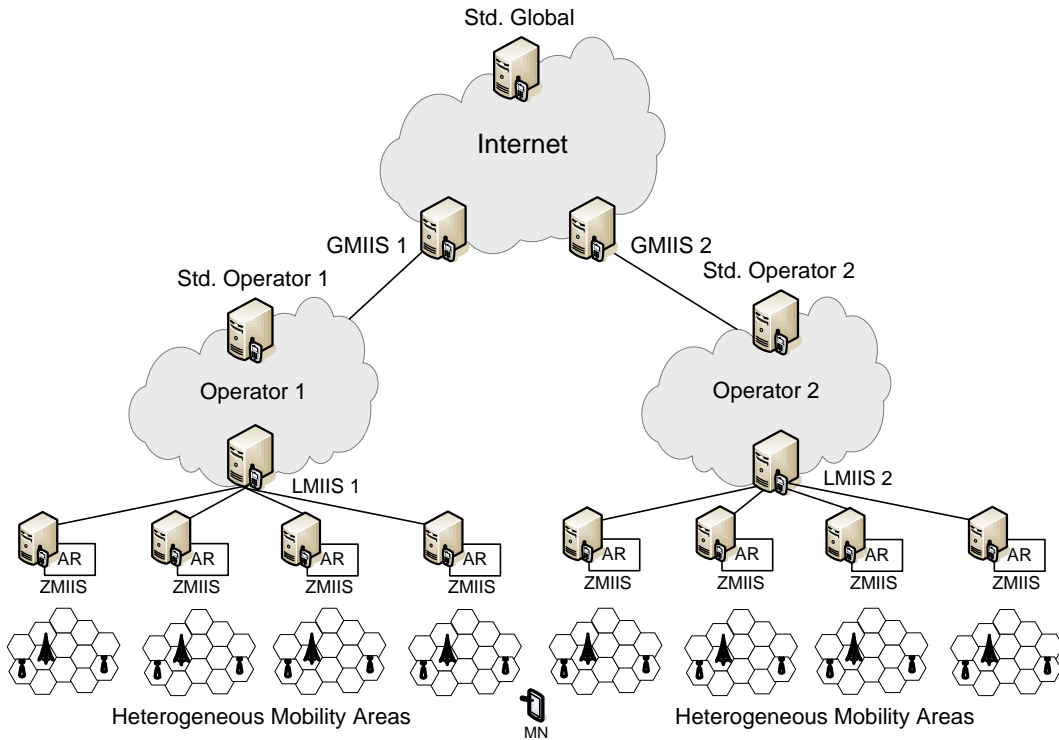


Figure 11.5: Simulation scenario - MIIS physical network placement

The topology area depends on the number of involved PoAs, which is variable. We attempt to illustrate a realistic scenario by involving two common wireless technologies: Wi-Fi and Wi-Max networks. The transmission range of each PoA is 100 m for Wi-Fi and 200 m for Wi-Max. Figure 11.6 illustrates the Wi-Fi and Wi-Max networks disposal when there are 4, 16 and 36 Wi-Fi PoAs and 1, 4 and 9 Wi-Max PoAs per HMA. In order to obtain the number of optimal handovers performed by the MN, the Wi-Fi coverage is composed by 50% of *good PoAs* (e.g., PoAs with low load) and by 50% of *bad PoAs* (e.g., heavy loaded PoAs). The handover selection criteria (in order of desirability) for determining handover preference is: Wi-Fi *good PoAs*, Wi-Max networks and Wi-Fi *bad PoAs*.

For evaluation purposes, we compare our architecture with the standard MIIS im-

Table 11.4: Simulation parameters

Parameter	Value
Simulation time	3600 seconds
Simulation area	Variable
Number of operators	2
Number of HMAs	8 (four for each operator)
Number of Wi-Fi PoAs	4, 16, 36
Number of Wi-Max PoAs	1, 4, 9
Wi-Max transmission range	200 m
Wi-Fi transmission range	100 m
Number of ZMIIS	8 (four for each operator)
Number of LMIIS	2 (one for each operator)
Number of GMIIS	2 (one for each operator)
Number of MN	1
Mobility model	Random Waypoint Model
MN speed	2, 4, 6, 8, 10 m/s
Pause time	2 s
N (hops)	10

plementation. The Std. Operator is installed in the core network of Operator 1 and Operator 2. These implementations are denoted Std.Operator 1 and Std. Operator 2. Also, we compare our framework with the Std.Global server.

Finally, a MN is moving using the RWP mobility model with speeds varying from 2m/s to 10 m/s with a 2s of pause time. We have conducted twenty simulation runs with the same configuration parameters but with different seeds. Each simulation varies the parameters related to the mobility, the starting point and the destination point for every MN movement. The simulation time is 3600 seconds (1 hour). Table 11.4 summarizes the main simulation parameters.

In order to show that the proposed hierarchical MIIS architecture outperforms the standard MIIS deployments, the following characteristics are evaluated: (1) the number of optimal handovers performed by the MN; (2) the effect of number of PoAs per HMA in the total MIIS query time and (3) the communication overhead in bytes.

As a result, we found that the MN has much better performance using the HMIIS mobility system. Following are the results of the simulation.

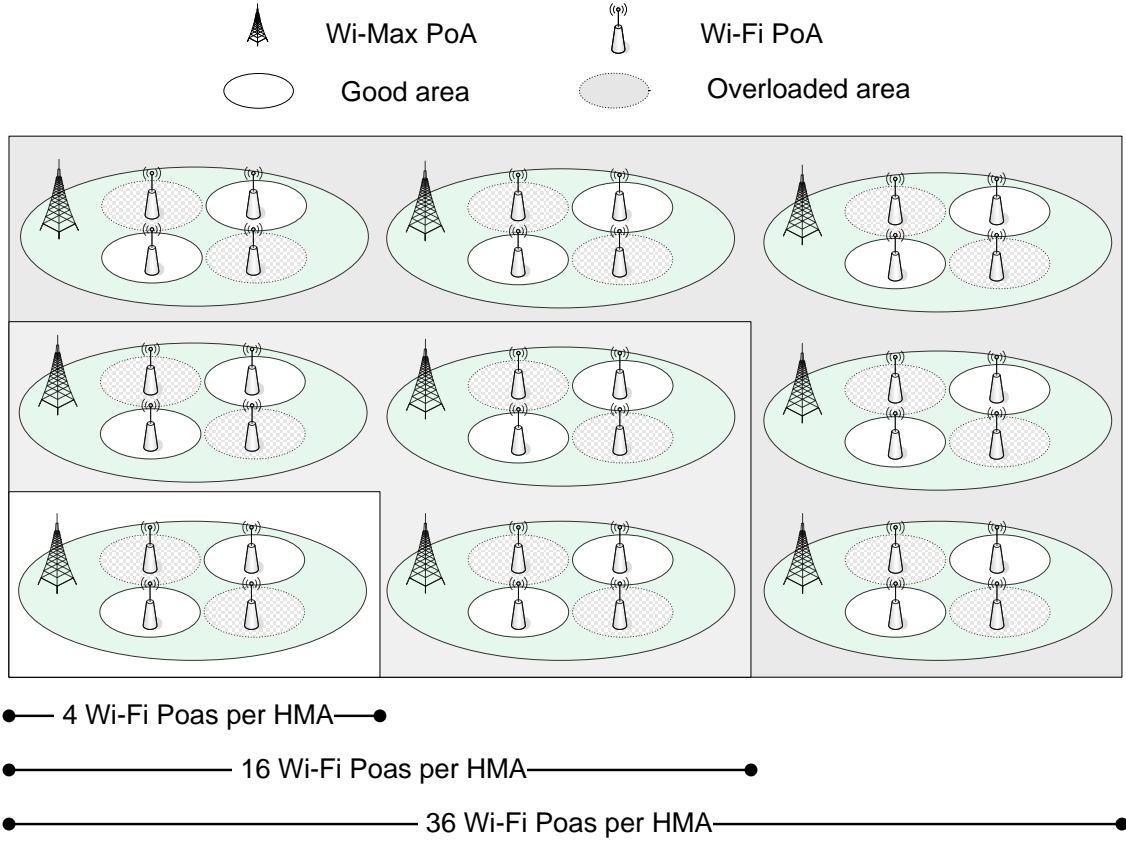


Figure 11.6: Wi-Fi and Wi-Max networks disposal

### 11.5.2 Mean number of optimal handovers

This metric refers to an important issue in 802.21 mobile scenarios that is the number of optimal handovers that would be triggered by the MN. In the simulated scenario, after receiving the response message from any MIIS server, the MN performs a handover decision. If the detected PoA has better characteristics than the PoA that it is currently connected to, it performs a handover. The main ideas of choosing this kind of MIIS query triggering are: (1) to avoid the MN doing blind handovers and (2) to allow the MN enjoying networks with better characteristics than is actually connected.

In Table 11.5, the effect of the MN speed in the number of optimal handovers is analyzed. Higher velocity indicates that more PoAs are detected and discovered by the MN. Consequently, it triggers more MIIS queries during the 3600 seconds of simulation time.

First, we calculate the total MIIS query delay spent by the MN during the simulation time. Table 11.5 shows that using the standard MIIS Operator (Std. Operator1 or Std. Operator2), the MN experiences an average MIIS query delay of 66 ms. When the MN is moving at 10 m/s, using the Operator 1, an average number of 112 MIIS queries are triggered with a MIIS total query delay of 7.4 seconds. In case the MN belongs to Operator 2, 114 MIIS queries are triggered consuming a total of 7.5 seconds. In the Std. Global deployment, the MIIS server has information about all the PoAs from all the operators. Thus, the MN detects 287 PoAs and sends 287 MIIS queries in which each query presents an average delay of 111 ms. Then, the MN takes almost 32 seconds to perform all the

Table 11.5: Number of optimal handovers (HO) in function of the MN speed

MIIS	Query delay	2 m/s			10 m/s		
		MIIS queries	Total query delay	Optimal HO	MIIS queries	Total query delay	Optimal HO
Std. Operator 1	66 ms	24.19	1.6s	11.81	112.38	7.42s	55.18
Std. Operator 2	66 ms	24.05	1.6s	12.24	114.51	7.56s	56.65
Std.Global	111 ms	57.06	6.33s	28.42	287.62	31.93s	142.94
HMIIS (sum)	–	56.06	4.47s	28.42	287.62	22.51s	142.94
Zone	28 ms	29.58	0.83s	14.68	149.33	4.18s	73.87
Local	109 ms	18.66	2.03s	9.37	94.37	10.29s	47.05
Global	183 ms	8.82	1.61s	4.37	43.92	8.04s	22.02

queries.

The HMIIS deployment presents several interesting results. Comparing the results at 10 m/s, Table 11.5 shows that using the hierarchical MIIS architecture, the MN performs a total of 287 MIIS queries, the same as using the Std. Global. However, the MIIS queries are distributed over different types of MIIS servers in the system. A total of 149 from the 287 (52%) queries are sent to the ZMIIS server. This is because the MN performs more handovers inside the same mobility area, due to PoA proximity. Each MIIS query sent to the ZMIIS lasts 28 ms. Almost 95 (32,7%) of the MIIS queries reached the LMIIS server, in which each query presents a delay of 109 ms. Finally, 44 (15,3%) of the queries are sent to the GMIIS server, where each query has an average delay of 183 ms. Adding all the times (ZMIIS, LMIIS and GMIIS), 22.5 seconds are necessary to trigger the MIIS queries.

The main advantage of the hierarchical MIIS architecture is that the MN triggers all the MIIS queries in only 22.5 seconds, compared to the 31.9 seconds using the Std. Global, which represents a reduction of almost 30% of total MIIS query delay.

Therefore, a comparison between the number of optimal handovers using the HMIIS architecture and the standard MIIS deployments is done.

Table 11.5 shows that using the Std. Operator 1 at 10 m/s, the MN triggers 112 queries, performing 55 optimal handovers. If the MN is initialized in the Operator 2, 56 optimal handovers are performed. If the standard MIIS is deployed as Std. Global, allowing inter-operator handovers, the MN detects 287 PoAs making 143 optimal handovers. The HMIIS deployment presents the same results as obtained using the Std. Global MIIS in which from 287 detected PoAs, the MN connects to 143 of them (good PoAs), making a total of 143 optimal handovers.

Looking at the results, the Std. Operator1 and Std. Operator2 are those with worse results, since no handover between different operators is allowed. On the other hand, using the Std. Global and the HMIIS deployments the MN performs the same number of optimal handovers, a total of 143. However, using the HMIIS architecture, the MN performs all the MIIS queries in 22.5 seconds, compared to the 31.9 seconds using the Std. Global, enhancing the mobile user QoE.

Also, it can be found that there is no significant difference in the results when the MN moves at 2 m/s. The HMIIS system also presents an improvement of 31% in the total

MIIS query delay. The above results show that the deployment of a hierarchical MIIS architecture in which the access networks are grouped in HMA managed by different MIIS servers, enhances the performance of the MN in terms of number of optimal handovers and total MIIS server access delay, when compared to the IEEE 802.21 standard MIIS deployment and existing centralized MIIS implementations.

### 11.5.3 Effect of the number of point of attachments per mobility zone

The effect of the number of Wi-Fi PoAs per HMA in the total MIIS query delay is also analyzed. The MN speed varies from 2 m/s to 10m/s. Figure 11.7 shows that increasing the number of Wi-Fi PoAs per mobility zone; reduces the total MIIS query time using the HMIIS system.

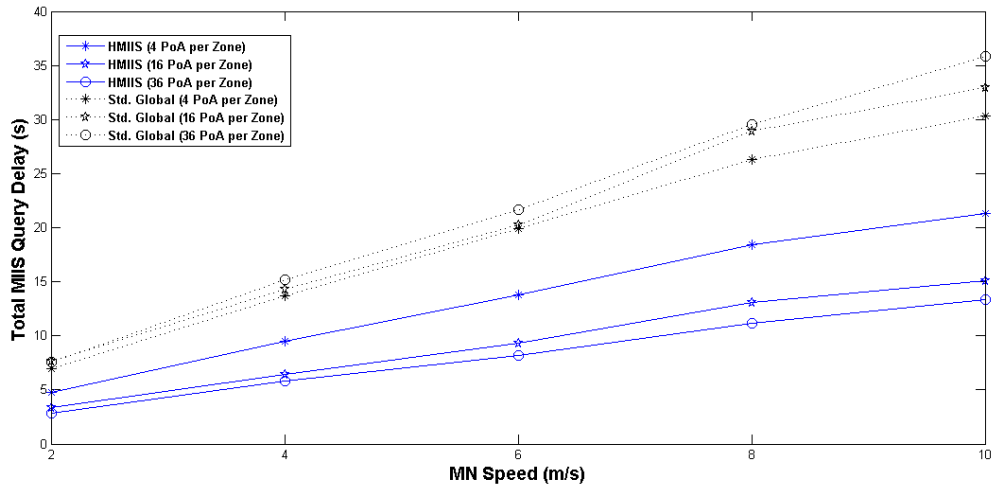


Figure 11.7: Effect of the number of point of attachments per mobility zone

This is due to the fact that, as the number of PoAs per HMA increases, more MIIS queries are generated using the ZMIIS server (lowest MIIS query delay). Even when there are four Wi-Fi PoAs per HMA (and consequently the MN triggers more queries to the LMIIS and GMIIS servers) the total MIIS query delay (5 s) of the proposed scheme is less than the delay (7.6 s) of the Std. Global MIIS scheme. Also, it can be observed that higher speeds drastically affect the total MIIS query delay using the standard MIIS approach.

### 11.5.4 Communication overhead

One of the main benefits of the HMIIS approach is the distribution of the queries over several MIIS servers, with the objective of increasing network efficiency. In terms of query opportunities, we have seen that the same amount of query messages is triggered by our HMIIS framework and the Std. Global approach. However, the overhead using the Std. Global is much greater in the network backbone, whereas our approach sees the information exchange being greater only inside each HMA. In this way, our framework

Table 11.6: Overhead (en bytes)

MIIS	4 PoAs per HMA		16 PoAs per HMA		36 PoAs per HMA	
	Hit rate	Bytes	Hit Rate	Bytes	Hit Rate	Bytes
Std.Global	100%	10.89 KB	100%	11.52 KB	100%	11.3 KB
HMIIS (sum)	–	10.89 KB	–	11.52 KB	–	11.3 KB
Zone	51,61%	5.62 KB	76,37%	8.81 KB	84,01%	9.49 KB
Local	33,26%	3.62 KB	16,11%	1.85 KB	10,76%	1.22 KB
Global	15,13%	1.65 KB	7,52%	0.86 KB	5,23%	0.59 KB

contributes to a decrease in the traffic at the operator's core or the Internet. Table 11.6 shows the communication overhead caused by the user querying the MIIS server, using either the Std. Global or HMIIS approaches. For this scenario, each MIIS message carries about 40 bytes of length and the MN speed is 10 m/s.

The amount of overhead generated in the Std. Global approach accounts for 100% (10.89 KB) of the Internet traffic, whereas in the HMIIS approach, the ZMIIS, LMIIS and GMIIS servers are involved in 51%, 33% and 15% respectively. This means that 5.62 KB are generated inside the mobility area, 3.62 KB is the overhead in the operator's core and only 1.65 KB involves traffic to the Internet. Increasing the number of Wi-Fi PoAs per HMA; reduces the signaling load in the operator's core and Internet using the proposed HMIIS architecture.

## 11.6 Scanning delay

As commented in chapter 8, the neighbor network discovery is the most time-consuming phase in the handover process. Usually, the MN listens to the wireless medium to check if there is a Wi-Fi network within range. This process of listening is denoted scanning. The problem is that scanning all the channels (13 in Europe, 11 in North America and 14 in Japan) is very time and battery-level consuming. In a Wi-Fi network deployment, several channels are expected to be empty, to reduce the interference between adjacent Wi-Fi Access Points (APs). Skipping empty channels can reduce the Wi-Fi APs discovery delay. So, the scanning delay can be reduced by simple refining the scanning procedure to a limited set of channels, denoted selective scanning.

Several works have been published to reduce the scanning delays using the MIIS server. In [LKSW09] the authors proposed a Wi-Fi discovery scheme by exploiting information about the channel and location of the networks. The work [KPKP11] suggests an enhanced MIIS server in which channel conditions are estimated using spatial and temporal locality, with the objective of minimizing the channel scanning delays. [LMKL09a] investigate the power consumption reduction during the scanning procedure using the information provided by the MIIS service. [KA11] propose the use of the MIIS service in which the user acquires channel configuration information and then uses that information to scan a limited set of channels being used by the surrounding access points or throughout the network rather than scanning all possible channels resulting in reduced handover delay.

However, in these previous works, one common assumption is that the MN and APs

have a Global Positioning System (GPS) device or another location service equipment in order to communicate with the MIIS server and obtain channel-related information. Our overall idea (called **intelligent Wi-Fi scanning**) differs from the existing works in that the MN without any location service equipment can obtain channel information from the MIIS server in a geographical area.

Before showing the results obtained by the intelligent Wi-Fi scanning method, we describe the traditional Wi-Fi scanning scheme. There are currently two kinds of channel scanning methods in IEEE 802.11 standard: passive and active. In the passive scanning mode the MN listens to the wireless medium for beacon frames. Current APs have a default beacon interval of 100ms. During passive scanning, the MN listens to each channel of the physical medium one by one, in an attempt to locate potential APs using the probed channel. In this way, the full passive scanning is expressed by (number of channels  $\times$  beacon interval (100ms)). Therefore, scanning 11 channels might take 1.1s.

Active scanning performs as follows. When handover is needed, the MN broadcasts a probe request packet on a possible channel and waits for a probe response. If it cannot receive any probe response after MinChannelTime, it will start to probe for the next channel in lists. If it receives a probe response in MinChannelTime, it will wait for a MaxChannelTime to collect for possible probe responses. Therefore, the active scanning time is variable, but might take up to 0.3s.

In order to reduce the Wi-Fi scanning delay, we specify a new intelligent selective Wi-Fi scanning [BGVRCK11] using the ZMIIS server from the HMIIS architecture. Detailed procedures are as follows:

1. In the bootstrapping, the MN connects to an available network and receives channel-related information about APs in the same HMA from the ZMIIS server.
2. In the movement from one network coverage to another, the MN receives a link detected trigger (since in Wi-Fi networks the MN monitors signal quality of associated Wi-Fi APs). Upon detecting a new AP, it looks inside the HMA information.
3. If the detected AP belongs to the same HMA, no additional channel scanning (to check the connectivity or resource availability) is necessary, because the MN stores enough channel information from the HMA, previously provided by the ZMIIS server in the bootstrapping phase.
4. Belonging to a different HMA (MN is crossing two different HMAs), the MN sends a MIH Get information request message to the ZMIIS server including the detected AP identifier. The ZMIIS server is able to contact the target ZMIIS server that holds information from the detected AP. Upon receiving the request message, the target ZMIIS server replies with MIH Get Information response message containing a list of channels currently used by nearby APs within the new HMA (where the MN is moving to). After receiving the response from the ZMIIS server, the MN constructs a list of valid used channels.
5. If a handover is triggered (e.g. link going down), a selective scan in the channels provided in (1) or in (4) is performed.

### 11.6.1 Simulation scenario

Figure 11.8 gives a general view of the used scenario. As it can be seen, the ZMIIS servers are distributed over the operator's core network in a distributed way. The scenario



is composed by a variable number of HMAs and ZMIIS servers (1 to 9), with a variable number of Wi-Fi APs (1 and 5) per HMA. The used channel numbers are 1, 6 and 11. We have chosen these channels, because usually in Wi-Fi networks deployment, several channels are expected to be empty, to reduce the interference between adjacent APs. Finally, a MN is moving using the RWP model with a 2m/s of speed and with a 2s of pause time.

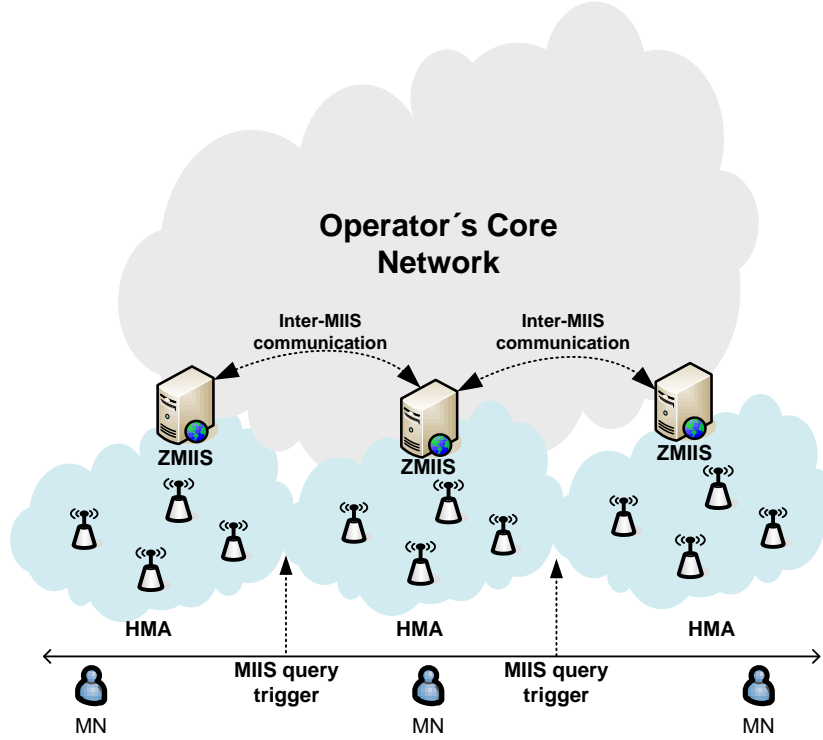


Figure 11.8: Simulation scenario

Table 11.7 shows the network parameters considered for the simulation.

### 11.6.2 Results

We compare three different scanning strategies:

1. **Full Passive Scanning (FPS):** expressed by (number of channels x beacon interval (around 100ms)). Therefore, scanning 11 channels might take 1.1s. The FPS is performed each time a handover is triggered (e.g. link going down).
2. **Full Active Scanning (FAS):** the MN broadcasts probe requests messages and waits for at least a MinChannelTime (set as 17ms). If any response arrives, the MN waits for a MaxChannelTime (set as 30ms). This is done for each Wi-Fi channel. The MN needs 330ms to perform this scanning method.
3. **Intelligent Wi-Fi Scanning (IWS):** the MN requests information from the ZMIIS server and scans only the used channels by the neighbours APs in the HMA. We also take in account the delay to get information from the ZMIIS server that is approximately 36 ms.



Table 11.7: Simulation parameters

Parameter	Value
Number of HMAs	1-9
Number of ZMIIS	1-9
Number of APs	1 and 5 per HMA
Wi-fi transmission range	100 m
Wi-Fi used channels	1, 6, 11
Number of MN	1
Mobility model	Random Waypoint Model
MN speed	2 m/s
Pause time	5 s
Simulation time	1 hour

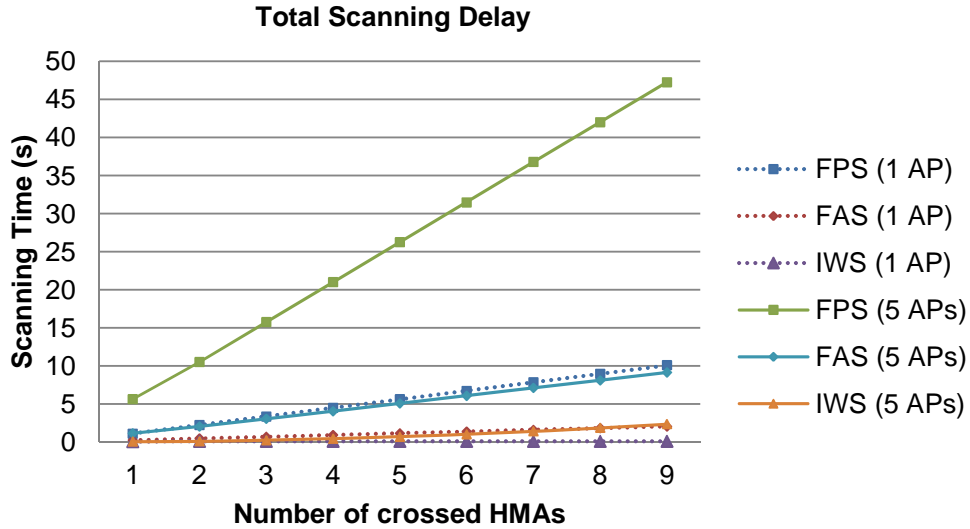


Figure 11.9: Total scanning delay comparison

From Figure 11.9, it can be seen that the FPS is the worst scanning scheme of the existing scanning approaches. The MN lasts more than 45 seconds to discover all the Wi-Fi networks when it crosses 9 RMAs and there are 5 PoAs per RMA. With regards to the same characteristics, the scanning delay is about 10 seconds if the MN uses the FAS scanning method to discover neighbour Wi-Fi networks. Using our proposed scheme (IWS), the delay is reduced to approximately 2.35 seconds. So, as the number of crossed

RMAs and existing PoAs per RMA increase, the performance of the FPS degrades. Also, the simulation results show that the bigger the network is (in number of RMAs and PoAs per RMA); better results are presented by the IWS scheme.

## 11.7 Summary

This chapter covered the simulations results considering several real scenarios that verify the applicability of our proposal. We have used the NS-2 network simulator [NS-] that is the most used simulator by researchers, research and development institutes and technology companies in evaluating new network protocols. We discussed some technical characteristics of the network simulator NS-2 and its main advantages over other simulators.

Then, we described the main metrics used in this simulation. Among them, we studied the neighbor network discovery delay using the HMIIS system, the total throughput, the optimal number of handovers obtained by the MN, the communication overhead generated by the system and finally the scanning delay.

We have performed two different simulations showing the applicability and performance of our HMIIS mobility system. In the simulation with MN linear movement, it can be seen that the MN gets better throughput using the HMIIS than with the existing implementations. Moreover, we have simulated the movement of the MN in a completely random mobility pattern showing that the MN obtains a greater number of optimal handovers using our proposed scheme. The simulation results show that the HMIIS mobility system:

- Allows the MN to have a MIIS server a few hops away.
- Minimizes the access networks discovery delay in a given geographical area.
- Offers mobility information that enables the MN to make better handover decisions.
- Improves the MN experience, since the MN receives information only related to its general neighborhood environment, increasing the handover optimization opportunities.
- Avoids a single point of failure.
- Minimize the use of resources and messages in the network backbone, distributing the queries over different types of MIIS servers.



## Chapter 12

# Concluding Remarks and Future Work

This work addressed the main aspects of an information server architecture deployment in heterogeneous networks including Wi-Fi, Wi-Max and 3G cellular networks.

First we mapped the deployment requirements for a network information server consisting of several access networks belonging to different operators. After this mapping, a detailed study of the state of art and of previous works relating to the subject showed that there was still no formal standard or specification for the management of mobility services in fourth generation networks. Second, we presented a detailed analysis of the IEEE 802.21 standard that optimizes the handover between heterogeneous networks where the main objective is to improve the user experience and facilitate the handover between different networks. Through an example, we showed a handover between Wi-Fi and Wi-Max network, illustrating the exchanged messages (signalling) between the network entities.

Then, we presented the specification of a hierarchical mobility information system, denoted HMIIS, which is the main contribution of this work. Firstly, we introduce the notion of Heterogeneous Mobility Areas, defined by the amount of existing media independent access networks or Point of Attachments and users, even considering areas where networks are overlapped. Secondly, there are Zone MIIS servers which are in charge of supplying highly detailed information about specific access networks in a particular mobility area. Thirdly, we specify Local MIIS server managing information of different mobility areas, which belongs to the same operator. Finally, a Global MIIS server is specified to be used in multi-operator environments. To enable mobility-related information sharing between operators, we introduce the *MIIS Service Level Agreement* model, abbreviated MSLA. The MSLA model specifies that each GMIIS server negotiates collaboration agreements with other GMIIS servers. Hence, the user can only obtain additional network information from another operator if two Global MIIS servers use the MSLA model and have a collaboration agreement between them.

Finally, we have presented an exhaustive performance evaluation of the proposed HMIIS mobility system for MIH networks using the NS-2 network simulator. The results show that the deployment of a hierarchical MIIS architecture, in which the access networks are grouped in mobility areas managed by different MIIS servers, enhances the performance of the MN in terms of number of optimal handovers, total MIIS server access delay and communication overhead if compared with the IEEE 802.21 standard MIIS deployment and the existing centralized implementations. Also, our research contributes to a decrease of the traffic at the operator's core or the Internet, increasing the network efficiency. Finally, the distribution of the queries over different MIIS servers provides higher

resilience and scalability with regards to the mobility information distribution.

## 12.1 Future work

Although the hierarchical mobility information system provides a robust and efficient mobility management system, we believe that substantial improvements could be the full specification of a safety mechanism to encrypt the communication between user and any MIIS server in the hierarchy. Future work may include the following:

- **Security mechanisms:** accessing critical information from another operator through non-secure links, and 3rd party servers, raises important security issues as well. Other than service agreements, the Global MIIS servers must be able to access AAA frameworks where users can be authenticated prior doing the information query. One solution in secure inter-domain handover is presented in [DFD<sup>+</sup>08]. The authors propose a handover optimization framework denoted Media Independent Pre-Authentication (MPA) that enhances the inter-domain and inter-technology handover. The MPA specifies that a MN can establish a security association with the candidate network before it attaches to it and, subsequently, performs a security communication. Using such a technique, two or more different MIIS can establish a secure communication and interchange information. In [SBRCGV11], we have started to work in a security mechanism for the HMIIS system. Thus, a future direction would be to specify a security mechanism that allows the user to obtain information from any signature MIIS server completely safe for the sole purpose of improving the mobility of the user.
- **Inter-domain communication:** although we have specified a MIIS Service Level Agreement between MIIS servers, a complete specification of a communication system between operators and domains, especially with fourth-generation networks including a variety of network entities is a very interesting subject as future work.
- **Specification of a distributed MIIS server architecture:** in [BGVRCK11] we started working with a distributed MIIS server architecture, where there is no hierarchy and all servers are on the same level within the network. This model works well for a single operator. Considering scenarios where inter-operator handover are needed, the system requires iteration with higher entities, such as authentication servers and user credentials control.
- **Integration with CDN networks (Content Distribution Networks):** CDNs are a set of servers that contain copies of the same set of contents (pictures, videos, documents, etc.). The CDN servers are located in different points of a network or Internet to serve its contents more efficiently. Basically, the greater efficiency is achieved by load balancing between servers that are part of the system and its ability to serve content from the server closest to each client. More information on what networks are available in [VP03].
- **Integration with mobility protocols:** the HMIIS mobility system could benefit from a possible integration and validation with different mobility protocols, such that Mobile IP [PRP02], Hierarchical MIPv6 [SCMB08], Fast Mobile IP [Koo08], among others.

# Bibliography

- [3GP04] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Network Sharing; Architecture and Functional Description; (Release 6), December 2004.
- [3GP06] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network Architecture, March 2006.
- [BGV08] F. Buiati and L. J. García-Villalba. Localización de Servicios de Información en Redes 4G. In *Actas del XXIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, Madrid, España, September 2008.
- [BGVC<sup>+</sup>10] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, and R. L. Aguiar. Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization. *IEEE Communications Letters*, 14(11):1020–1022, November 2010.
- [BGVC<sup>+</sup>11] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Corujo, S. Sargento, and R. L. Aguiar. IEEE 802.21 Information Services Deployment for Heterogeneous Mobile Environments. *IET Communications*, 5(18):2721–2729, December 2011.
- [BGVRCK11] F. Buiati, L. J. García-Villalba, D. Rupérez-Cañas, and T. Kim. Improving the Wi-Fi Channel Scanning Using a Decentralized IEEE 802.21 Information Service. In *Proceedings of the International Conference on Multimedia, Computer Graphics and Broadcasting, Part II*, volume 263 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 290–294, Jeju Island, Korea, December 2011.
- [BKS<sup>+</sup>08] J. Baek, D. Kim, Y. Suh, E. Hwang, and Y. Chung. Network-Initiated Handover Based on IEEE 802.21 Framework for QoS Service Continuity in UMTS/802.16e Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2157–2161, Singapore, May 2008.
- [BL07] F. Bari and V. Leung. Automated Network Selection in a Heterogeneous Wireless Network Environment. *IEEE Network*, 21(1):34–40, January 2007.
- [BS05] C. Beckman and G. Smith. Shared Networks: Making Wireless Communication Affordable. *IEEE Wireless Communications*, 12(2):78–85, April 2005.
- [BSRCGV11] F. Buiati, I. Saadat, D. Rupérez-Cañas, and L. J. García-Villalba. IEEE 802.21 Information Service: Features and Implementation Issues. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology*, Amman, Jordan, May 2011.
- [CDN<sup>+</sup>96] A. Chankhunthod, P. B. Danzig, C. Neerdaels, M. F. Schwartz, and K. J. Worrell. A Hierarchical Internet Object Cache. In *Proceedings of the 1996 Annual Conference on Usenix Annual Technical Conference*, pages 153–164, November 1996.
- [CIRG09] C. K. Christakos, A. Izquierdo, R. Rouil, and N. Golmie. Using the Media Independent Information Service to Support Mobile Authentication in Fast Mobile IPv6. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 2091–2096, April 2009.

- [CV06] F. Cacace and L. Voller. Managing Mobility and Adaptation in Upcoming 802.21 Enabled Devices. In *Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots*, pages 1–10, Los Angeles, California, USA, September 2006.
- [DFD<sup>+</sup>08] A. Dutta, D. Famolari, S. Das, Y. Ohba, V. Fajardo, K. Taniuchi, R. López, and H. Schulzrinne. Media-Independent Pre-Authentication Supporting Secure Interdomain Handover Optimization. *IEEE Wireless Communications*, 15(2):55–64, April 2008.
- [dlOBS<sup>+</sup>08] A. de la Oliva, A. Banchs, I. Soto, T. Melia, and A. Vidal. An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services. *IEEE Wireless Communications*, 15(4):96–103, August 2008.
- [FCL<sup>+</sup>07] J. Floroiu, M. Corici, B.J. Lee, S. Lee, S. Arbanowski, and T. Magedanz. A Vertical Handover Architecture for End-to-End Service Optimization. In *Proceedings of the 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit*, pages 1–5, Budapest, Hungary, July 2007.
- [FTLA08] T. Frisanco, P. Tafertshofer, P. Lurin, and R. Ang. Infrastructure Sharing and Shared Operations for Mobile Network Operators: From a Deployment and Operations View. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, pages 2193–2200, Beijing, China, May 2008.
- [GJ03] E. Gustafsson and A. Jonsson. Always Best Connected. *IEEE Wireless Communications*, 10(1):49–55, February 2003.
- [GLD<sup>+</sup>08] Ed. S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. Proxy Mobile IPv6. Internet Engineering Task Force, RFC 5213, August 2008.
- [GPH<sup>+</sup>07] R. Giaffreda, K. Pentikousis, E. Hepworth, R. Agüero, and A. Galis. An Information Service Infrastructure for Ambient Networks. In *Proceedings of the IASTED International Multi-Conference: Parallel and Distributed Computing and Networks*, pages 21–27, Innsbruck, Austria, February 2007.
- [GRG09] D. Griffith, R. Rouil, and N. Golmie. Performance Metrics for IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) Signaling. *Wireless Personal Communications*, 52(3):537–567, March 2009.
- [HJM04] J. Hultell, K. Johansson, and J. Markendahl. Business Models and Resource Management for Shared Wireless Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, volume 5, pages 3393–3397, Los Angeles, California, USA, September 2004.
- [IEE99] IEEE Standard 802.11-1997 Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, in IEEE Std 802.11-1997, 1997, pp. i-445. IEEE Standard 802.11, June 1999.
- [IEE05] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. IEEE 802.16e-2005, 2005.
- [IEE08a] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs, June 2008.

- [IEE08b] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11: Wireless Lan Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Fast Basic Service set (BSS), July 2008.
- [IEE09] IEEE 802.21, Standard, Local and Metropolitan Area Networks Part 21: Media Independent Handover Services, January 2009.
- [JH97] D. P. John and J. Harrison. A Distributed Internet Cache. In *Proceedings of the Australian Computer Science Conference*, pages 5–7, Sidney, Australia, February 1997.
- [JM04] M. Kojo J. Manner. Mobility Related Terminology. Internet Engineering Task Force, RFC 7753, June 2004.
- [JPA04] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. Mobility Support in IPv6. Internet Engineering Task Force, RFC 3775, June 2004.
- [KA11] M. Q. Khan and S. H. Andresen. An Intelligent Scan Mechanism for 802.11 Networks by Using Media Independent Information Server. In *Proceedings of the IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pages 221–225, Biopolis, Singapore, March 2011.
- [KO06a] D. Kutscher and J. Ott. Enhancing User Mobility with Network Service Maps. In *Proceedings of the Terena Networking Conference*, Catania, Italy, May 2006.
- [KO06b] D. Kutscher and J. Ott. Service Maps for Heterogeneous Network Environments. In *Proceedings of the International Conference on Mobile Data Management*, page 27, Nara, Japan, May 2006.
- [Koo08] R. Koodli. Mobile IPv6 Fast Handovers. Internet Engineering Task Force, RFC 5568, June 2008.
- [KPKP11] Y. Kim, S. Pack, C. Kang, and S. Park. An Enhanced Information Server for Seamless Vertical Handover in IEEE 802.21 MIH Networks. *Computer Networks*, 55(1):147–158, January 2011.
- [LKSW09] W.S. Lim, D.W. Kim, Y.J Suh, and J.J. Won. Implementation and Performance Study of IEEE 802.21 in Integrated IEEE 802.11/802.16e Networks. *Computer Networks*, 32(1):134–143, January 2009.
- [LMKL09a] H. Liu, C. Maciocco, V. Kesavan, and A. L. Y. Low. Energy Efficient Network Selection and Seamless Handovers in Mixed Networks. In *Proceedings of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops*, pages 1–9, Kos, Greece, June 2009.
- [LMKL09b] H. Liu, C. Maciocco, V. Kesavan, and A. L. Y. Low. IEEE 802.21 Assisted Seamless and Energy Efficient Handovers in Mixed Networks. In *Proceedings of International ICST Conference on Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications*, volume 7 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 27–42, Berlin, Germany, April 2009.
- [LSN10] G. Lampropoulos, C. Skianis, and P. Neves. Optimized Fusion of Heterogeneous Wireless Networks Based on Media-Independent Handover Operations. *IEEE Wireless Communications*, 17(4):78–87, August 2010.
- [LSP08] G. Lampropoulos, A.K. Salkintzis, and N. Passas. Media-Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(1):64–71, January 2008.
- [LTE08] UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE), 2008.



- [MCdlO<sup>+</sup>07] T. Melia, D. Corujo, A. de la Oliva, A. Vidal, R. L. Aguiar, and I. Soto. Impact of Heterogeneous Network Controlled Handovers on Multi-Mode Mobile Device Design. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference*, pages 3884–3889, Kowloon, Hong-Kong, March 2007.
- [MRG11] D.E. Meddour, T. Rasheed, and Y. Gourhant. On the Role of Infrastructure Sharing for Mobile Network Operators in Emerging Markets. *Computer Networks*, 55(7):1576–1591, May 2011.
- [MYNF07] B. Q. Mussabbir, W. Yao, Z. Niu, and Z. Fu. Optimized FMIPv6 Using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3397–3407, November 2007.
- [NH07] D. Niyato and E. Hossain. Integration of Wi-Max and Wi-Fi: Optimal Pricing for Bandwidth Sharing. *IEEE Communications Magazine*, 45(5):140–146, June 2007.
- [NHH06] N. Nasser, A. Hasswa, and H. Hassanein. Handoffs in Fourth Generation Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(10):96–103, October 2006.
- [Nis07] The National Institute of Standard and Technologies, Mobility Package for Network Simulator 2, <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/>, May 2007.
- [NS-] The Network Simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [NSS<sup>+</sup>11] P. Neves, J. Soares, S. Sargento, H. Pires, and F. Fonte. Context-aware Media Independent Information Server for Optimized Seamless Handover Procedures. *Computer Networks*, 55(7):1498–1519, May 2011.
- [NW06] E. S. Navarro and V. W. S. Wong. Comparison Between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks. In *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, Melbourne, Australia, May 2006.
- [ODT] Open Dot Twenty One IEEE 802.21 Implementation, <http://hng.av.it.pt/projects/odtone>.
- [Ope] Open MIH, <http://sourceforge.net/projects/openmih>.
- [PAG<sup>+</sup>07] K. Pentikousis, R. Agüero, R. Giaffreda, A. Galis, and E. Hepworth. Information Management for Dynamic Networks, Computing in the Global Information Technology. In *Proceedings of the International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology*, page 43, Guadeloupe, French Caribbean, March 2007.
- [Pos81a] J. Postel. Internet Protocol. Internet Engineering Task Force, RFC 791, September 1981.
- [Pos81b] J. Postel. Transmission Control Protocol, Internet Engineering Task Force, RFC 793, September 1981.
- [PRP02] B. Patil, P. Roberts, and C. E. Perkins. IP Mobility Support for IPv4. Internet Engineering Task Force, RFC 3344, August 2002.
- [PSJ<sup>+</sup>08] A. Pontes, D. P. Silva, J. Jailton, O. Rodrigues, and K. L. Dias. Handover Management in Integrated WLAN and Mobile WiMAX Networks. *IEEE Wireless Communications*, 15(5):86–95, October 2008.
- [RS02] M. Rabinovich and O. Spatscheck. *Web Caching and Replication*. Addison-Wesley, 2002.
- [RSB01] P. Rodríguez, C. Spanner, and E. W. Biersack. Analysis of Web Caching Architectures: Hierarchical and Distributed Caching. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 9:404–418, 2001.
- [SBRCGV11] I. Saadat, F. Buiati, D. Rupérez-Cañas, and L. J. García-Villalba. Overview of IEEE 802.21 Security Issues for MIH Networks. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology*, Amman, Jordan, May 2011.

- [SC07] J. H. Seol and J. M. Chung. IEEE 802.21 MIH Based Handover for Next Generation Mobile Communication Systems. In *Proceedings of the International Conference on Innovations in Information Technology*, pages 431–435, Dubai, United Arab Emirates, November 2007.
- [SCMB08] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6). Internet Engineering Task Force RFC 5380. Internet Requests for Comment, August 2008.
- [SJ05] Q. Song and A. Jamalipour. Network Selection in an Integrated Wireless LAN and UMTS Environment Using Mathematical Modeling and Computing Techniques. *IEEE Wireless Communications*, 12(3):42–48, 2005.
- [SQG05] K. Sood, E. H. Qi, and V. G. Gupta. Seamless Platform Mobility Across Wireless Networks. White Paper, Intel, September 2005.
- [TOF<sup>+</sup>09] K. Taniuchi, Y. Ohba, V. Fajardo, S. Das, M. Tauil, Y. H. Cheng, A. Dutta, D. Baker, M. Yajnik, and D. Famolari. IEEE 802.21: Media independent handover: Features, Applicability, and Realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120, 2009.
- [VIE11] K. De Vogeleer, S. Ickin, and D. Eрман. A Decentralized Information Service for IEEE 802.21 - Media Independent Handover (MIH). IEEE Groups, 2011.
- [VP03] A. Vakali and G. Pallis. Content Delivery Networks: Status and Trends. *IEEE Internet Computing*, 7(6):68–74, November 2003.
- [WC97] D. Wessels and K. Claffy. Internet Cache Protocol (ICP), version 2. Internet Engineering Task Force, RFC 2186, September 1997.
- [WCCH06] M. Wu, Y. Chen, T. Chung, and C. Hsu. A Profile-Based Network Selection with MIH Information Service. In *Proceedings of the International Conference on Supercomputing*, Samos Island, Greece, August 2006.
- [YCG10] S. J. Yoo, D. Cypher, and N. Golmie. Timely Effective Handover Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks. *Wireless Personal Communications*, 52(3):449–475, 2010.
- [YYJP08] W. Ying, Z. Yun, Y. Jun, and Z. Ping. An Enhanced Media Independent Handover Framework for Heterogeneous Networks. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2306–2310, Barcelona, Spain, May 2008.